

СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научно-технический журнал по строительству и архитектуре

Construction and industrial safety
Scientific and Technical Journal on Constraction and Architecture

№ 20(72) – 2021

Основан в 1996 году.
Выходит 4 раза в год (ежеквартально)

Учредитель:

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» (КФУ им. В.И. Вернадского), 295007, Республика Крым, г. Симферополь, проспект Академика Вернадского, 4

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовым коммуникациям (Роскомнадзор).
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-61830 от 18 мая 2015 г.

Включен в утвержденный ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации Перечень рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук.

Индексируется в Российском индексе научного цитирования (**РИНЦ**)

Главный редактор

Федоркин Сергей Иванович, советник РААСН, д.т.н., проф.
(КФУ им.В.И. Вернадского)

Заместители главного редактора:

Любомирский Николай Владимирович, советник РААСН,
д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского)

Николенко Илья Викторович, д.т.н., проф. (КФУ
им. В.И. Вернадского)

Редакционная коллегия:

Абдулгасис У.А., д.т.н., проф. (КИПУ, Симферополь)

Бакаева Н.В., д.т.н., проф. (ЮЗГУ, Курск);

Бекиров Э.А., д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,
Симферополь);

Беспалов В.И., д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону)

Ветрова Н.М., д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,
Симферополь) – руководитель раздела «Экологическая
безопасность»;

Графкина М.В., д.т.н., проф. (МГМУ, Москва);

Гузненков В.Н., д.пед.н., доц. (МГТУ им. Н.Э. Баумана,
Москва);

Дворецкий А.Т., советник РААСН, д.т.н., проф. (КФУ
им. В.И. Вернадского, Симферополь);

Зайцев О.Н., д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,
Симферополь) – руководитель раздела «Инженерное
обеспечение»;

Кукунаев В.С., советник РААСН, д.т.н., с.н.с. (КФУ им.В.И.
Вернадского, Симферополь);

Маилян Д.Р., советник РААСН, д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-
на-Дону);

Нагаева З.С., советник РААСН, д.арх., проф. (КФУ
им. В.И. Вернадского, Симферополь) – руководитель раздела
«Градостроительство»

Несветаев Г.В., советник РААСН, д.т.н., проф. (ДГТУ,
Ростов-на-Дону);

Пишулина В.В., д.арх., проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону);

Сергейчук О.В., д.т.н., проф. (КНУСА, Киев, Украина);

Серпокрылов Н.С., д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону);

Толстой М.Ю., к.т.н., доц. (ИРНИТУ, Иркутск);

Цопа Н.В., советник РААСН, д.э.н., проф. (КФУ им. В.И.
Вернадского, Симферополь);

Чемодуров В.Т., д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,
Симферополь);

Чеботарев В.И., д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-на-Дону);

Шаленный В.Т., д.т.н., проф. (КФУ им. В.И. Вернадского,
Симферополь) – руководитель раздела «Строительство»;

Шенна С.Г., советник РААСН, д.т.н., проф. (ДГТУ, Ростов-
на-Дону);

Щербаков В.И., д.т.н., доц. (ВГТУ, Воронеж)

СТРОИТЕЛЬСТВО И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

№ 20(72) – 2021

научно-технический журнал

Печатается по решению научно-технического
совета ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»
(протокол № 1 от 25.01.2021)

Координатор выпуска *И.В. Николенко*
Верстка *Г.Р. Биленко*

Редакция Академии строительства и
архитектуры (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»

Адрес редакции: 95006, Республика Крым,
г. Симферополь, ул. Павленко, 3, корпус 2, к. 410,
e-mail: rio@naps.ru

Подписан в печать 18.03.2021.

Формат 70×108/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная.

Гарнитура Times New Roman. Усл. -печ. л. 9.
Тираж 100 экз.

Издатель: федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Крымский федеральный университет имени
В.И. Вернадского».

Издательство: ФГАОУ ВО «КФУ
им. В.И. Вернадского»

<http://cfuv.ru>, io_cfuv@mail.ru

(3652) 60-84-98,

295007, Республика Крым, г. Симферополь, проспект
Академика Вернадского, 4, каб. 400Б

Отпечатано в типографии ФГАОУ ВО «КФУ
им. В.И. Вернадского»

295000, Республика Крым, г. Симферополь, бульвар
Ленина, 5/7

Распространяется по подписке.

Подписка по каталогу агентства «Роспечать».

Подписной индекс: 64974 (полугодовая).

Стоимость 1 экз. журнала 227,0 руб.

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел 1. Градостроительство

Нагаева З.С., Живица В.В., Малаховская А.И.

АНАЛИЗ САНАТОРНО-КУРОРТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА С ЦЕЛЬЮ ВЫВЕДЕНИЯ ОБЩИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ИХ РЕКОНСТРУКЦИИ

5

Раздел 2. Строительство

Андронов А.В., Семенов С.Ю., Шаленный В.Т.

РАЗВИТИЕ КОНСТРУКЦИЙ И ТЕХНОЛОГИИ ВЫСОКОТОЧНОГО МОНТАЖА ТРУБОБЕТОННЫХ КОЛОНН КИНЕМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ КАРКАСОВ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

15

Чемодуров В.Т., Кузьменко О.А., Хитрук С.А.

МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЯВЛЕНИЙ АЭРОУПРУГОСТИ

23

Раздел 3. Инженерное обеспечение

Бекиров Э.А., Воскресенская С.Н., Потенко В.В.

АНАЛИЗ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В КРЫМУ

31

Родригес Васкес С., Мокрова Н.В.

ВЕКТОРНО-ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СЛОЁВ ПРИЛОЖЕНИЙ ГИС ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ТОЧЕК ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПЛОТИН

43

Чекалин А.А., Решетников М.К., Шпилев В.В., Бородулина С.В., Рязанов С.А.
МОДЕЛИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРНОЙ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТЬЮ ЗАВИСИМЫХ СЕЧЕНИЙ

53

Рязанов С.А., Решетников М.К., Шпилев В.В.

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЧЕРВЯЧНОГО КОЛЕСА И ЧЕРВЯКА ЗУБОРЕЗНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ С МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПРОИЗВОДЯЩЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

59

Муровский С.П.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

69

Гвоздкова Ю.Д., Гвоздкова И.А., Горбачев С.И.

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В ЭНЕРГОУСТАНОВКАХ НА ОСНОВЕ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

79

Кувшинов В.В., Бекиров Э.А., Гусева Е.В.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ С ДВУХСТОРОННЕЙ ПРИЁМНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ДЛЯ УСТАНОВОК МАЛОЙ ГЕНЕРАЦИИ

93

Раздел 4. Экологическая безопасность

Лысенко Е.В., Сердюк А.И.

РАЗВИТИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УТИЛИЗАЦИИ БЫТОВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ НА ПРИМЕРЕ ЛУГАНСКОЙ И ДОНЕЦКОЙ НАРОДНЫХ РЕСПУБЛИК

101

Список авторов

111

Руководство для авторов

112

CONTENT

Section 1. Town planning

<i>Nagaeva Z.S., Zhivitsa V.V., Malakhovskaya A.I.</i> ANALYSIS OF SANATORIUM-RESORT COMPLEXES OF THE SOUTHERN COAST OF CRIMEA IN ORDER TO DERIVE GENERAL RECOMMENDATIONS FOR THEIR RECONSTRUCTION	5
--	---

Section 2. Construction

<i>Andronov A.V., Semenov S.Yu., Shalenny V.T.</i> DEVELOPMENT OF CONSTRUCTIONS AND TECHNOLOGIES OF HIGH-PRECISION INSTALLATION OF PIPE CONCRETE COLUMNS OF KINEMATIC SYSTEMS OF SEISMIC PROTECTION OF CIVIL BUILDINGS FRAMES	15
<i>Chemodurov V.T., Kuzmenko O.A., Khitruk S.A.</i> A METHOD FOR SIMULATING PHENOMENA OF AEROELASTICITY	23

Section 3. Engineering Support

<i>Bekirov E.A., Voskresenskaya S.N., Potenko V.V.</i> ANALYSIS OF TECHNICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF OPERATION OF THE WIND POWER PLANTS IN CRIMEA	31
<i>Rodríguez Vázquez S., Mokrova N.V.</i> VECTOR-SPATIAL ANALYSIS OF GIS APPLICATION LAYERS FOR PLACING STRATEGIC POINTS IN DAM DESIGN	43
<i>Chekalin A.A., Reshetnikov M.K., Shpilev V.V., Borodulina S.V., Ryazanov S.A.</i> MODELING ARCHITECTURAL FORMS SURFACE DEPENDENT SECTIONS	53
<i>Ryazanov S.A., Reshetnikov M.K., Shpilev V.V.</i> FORMATION OF WORKING SURFACES OF A WORM WHEEL AND A WORM WITH A TOOTH-CUTTING TOOL WITH A MODIFIED PRODUCING SURFACE BY THE METHOD OF COMPUTER SIMULATION	59
<i>Murovsky S.P.</i> WAYS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF POWER SUPPLY TO REMOTE OBJECTS	69
<i>Gvozdikova J. D., Gvozdikova I. A., Gorbachev S. I.</i> ASSESSMENT OF THE PROSPECTS FOR THE USE OF ORGANIC MATERIALS IN SOLAR POWER PLANTS	79
<i>Kuvshinov V.V., Bekirov E.A., Guseva E.V.</i> USE OF PHOTOELECTRIC MODULES WITH DOUBLE-SIDED RECEIVING SURFACE FOR SMALL GENERATION UNITS	93

Section 4. Environmental safety

<i>Lysenko E.V., Serdyuk A.I.</i> DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF RECYCLING HOUSEHOLD POLYMER WASTE ON THE EXAMPLE OF THE LUGANSK AND DONETSK PEOPLE'S REPUBLICS	101
<i>List of authors</i>	111
<i>Authors Guide</i>	112

Раздел 1. Градостроительство

УДК 711.168 DOI: 10.37279/2413-1873-2021-20-5-13

АНАЛИЗ САНАТОРНО-КУРОРТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА С ЦЕЛЬЮ ВЫВЕДЕНИЯ ОБЩИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ИХ РЕКОНСТРУКЦИИ

Нагаева З.С., Живица В.В., Малаховская А.И.

Академия строительства и архитектуры, ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»
295493, Республика Крым, г. Симферополь, улица Киевская, 181
alina_malakhovskaya@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрена и проанализирована история развития санаторной и туристической отрасли в Крыму. Выделено 5 характерных периодов развития санаторно-курортной отрасли в Крыму. Первый период – начало XIX в. – 1917 г. – время зарождения санаторно-туристической отрасли в Крыму. Появление первых крымских курортов и санаториев грязелечения в г. Саки. В этот период открыты: пансион «Дарсан» (1897 г., г. Ялта), санаторий в честь императора Александра III (1900 г., пгт. Массандра), санаторий им. Императрицы Марии Федоровны (1910 г., г. Ялта). Второй период – 1917-1944 гг. – период формирования социалистической системы курортного лечения и отдыха. В это время дворцы, дачи, особняки отдавались под санатории для рабочих и крестьян. Третий период – 1944-1950 гг. (послевоенное время) – период восстановления санаторно-курортных комплексов. Четвертый период – 1951-1990 гг. В этот период в Крыму сформирована мощная система планового отдыха и туризма. Пятый период – 1991 г. – настоящее время. С конца 90-х годов значительно увеличивается количество частных пансионатов, баз отдыха, гостиниц. Однако многие из них не соответствуют нормативным требованиям, мировым стандартам и ожиданиям туристов. Все крымские учреждения санаторно-курортного назначения имеют в своём составе объекты культурного наследия и здания советского периода, не обладающие художественной ценностью. В статье проанализированы территориально-планировочные, архитектурно-художественные, функциональные особенности санаторно-курортных комплексов и даны рекомендации по их реконструкции и модернизации. **Предмет исследования:** санаторно-курортные комплексы, нуждающиеся в реконструкции. **Материалы и методы:** решение поставленных задач исследования осуществлялось при помощи анализа научных, литературных и нормативных источников; интернет поиска и анализа примеров реконструкции зданий. **Результаты:** Осуществлено всестороннее исследование территориально-планировочных, архитектурно-художественных особенностей крымских санаторно-курортных комплексов, с целью выявления факторов, влияющих на изучаемые объекты и выявления существующих проблем. На основании проведенного анализа выведены общие рекомендации по реконструкции санаторно-курортных комплексов. **Выводы:** Итогом исследований авторов стал ряд рекомендаций, направленных на переосмысление архитектурно-градостроительной концепции, благоустройства и функционального наполнения санаторно-курортных комплексов. Прикладным результатом данного исследования может быть формирование на базе действующих санаторно-курортных комплексов, полноценных объектов туризма, отдыха и оздоровления с учётом актуальных норм, и требований, мировых стандартов и ожиданий отдыхающих. **Ключевые слова:** реконструкция, реставрация, санаторно-туристическая отрасль, санаторно-курортный комплекс, объект культурного наследия.

ВВЕДЕНИЕ

За последние десятилетия туристическая отрасль стала ведущей в экономике многих стран мира. Республика Крым имеет потенциал для развития туризма: выгодное географическое положение, благоприятные природно-климатические условия и наличие уникального историко-культурного наследия.

Основное количество функционирующих в настоящее время крымских гостиниц и санаториев были построены в XIX века – начале XX века и на момент строительства были великолепными резиденциями и дворцами русских царей. Здания и сооружения располагались на территориях садово-парковых комплексов, запроектированных ведущими знаменитыми архитекторами того времени: Краснов Н.П. (Большой Белый Ливадийский дворец (Ливадия), вилла Атаровой

М.П. (конец XIX века, г. Ялта), дом учителя И.Н. Загордана на ул. Дворянской (г. Ялта), женская гимназия (1898 г., г. Ялта), здание Крымско-Кавказского горного клуба (г. Ялта), имение «Карасан» (пос. Карасан, 1907 г.), имение «Харакс», имение «Чаир», дом А.А. Спендиарова (1901 г., г. Ялта), дом А.Л. Бертъе-Делагарда (1901 г., г. Ялта), дом Краснова Н.П. на Николаевской улице (г. Ялта), Дом купца Е.О. Майтопа на Пушкинском бульваре (г. Ялта), Санаторий имени императрицы Александры Федоровны (1915-1916 гг., Массандра), Юсуповский дворец в Кореизе (пос. Кореиз, 1910 г.) и др.), Белозерский Б. И. (1938 г., Ялта, Кореиз, Второй спальный корпус санатория «Дюльбер») [2], Клаузен О. Г. (усадьба Ферсмана (Лозовое), усадьба Кесслера, графини Монжене, имение Джалман (80-е годы XIX в., Пионерское)), Бекетов А.Н. (1896 г., Алушта, дом-дача (дача Бекетова); 1912 г., Алушта, бывший пансион (корпус санатория «Рабочий уголок»)) [3], Монигетти И.А. (Большой

Ливадийский дворец (перестройка, 1862-1866 гг. разобран в 1910 г., Ливадия), Малый Ливадийский дворец (1862-1866 гг. разрушен в 1944 г., Ливадия), турецкая беседка (1862-1866 гг., Ливадия), дом Министра двора (1862-1866 гг., Ливадия), дома для свитских особ (1862-1866 гг., Ливадия) [4], Семенов Я.П. (1902 г., Симеиз, вилла Диво; 1910 г., Симеиз, вилла Ксения (совместно с Н.П. Красновым); 1910 г., Симеиз, вилла «Большой Богдан».) [5], Тарасов Н. Г. (Городской театр, сгорел в начале XX века (1897г., Ялта), дворец «Кичкинэ» (1912 г., Гаспра), дворец эмира Бухарского (1907-1911 гг., Ялта)) [6], Эльсон Ф. (Голицынский дворец (1837 г., Гаспра), дворец Перовских «Меллас» (30-е годы XIX в., Мухалатка), дом Воронцова, кухня (1827 г., Симферополь), Чайный домик и Старый дом Воронцовского дворца (1829 г., Алушка), Эшлиман К. И. (Гостиница «Бристоль» (1863 г., Ялта), Дом О.С. Нарышкиной (Мисхор), Ливадийский дворец (Ливадия)) [7, 16].

В настоящее время дворцово-парковые комплексы являются уникальными объектами культурного наследия, во многом формирующими архитектурный облик крымского полуострова. Также на Южном берегу Крыма (ЮБК) существует значительное количество гостиничных зданий, построенных во второй половине XX века. Они обладают необходимой несущей способностью, но не соответствуют современным стандартам к уровню комфорта, вместимости и архитектурной выразительностью. Такие здания не сочетаются с объектами культурного наследия XIX – XX вв., являющимися базовой частью тех же санаторно-курортных комплексов, дисгармонируют с природным окружением ЮБК. Функционирующие в настоящее время санаторно-курортные комплексы не соответствуют нормативным требованиям, мировым стандартам и ожиданиям туристов.

В условиях уникальной крымской природы и ландшафтов, наличия ценных садово-парковых объектов и памятников архитектуры, требуется полное переосмысление ценности санаторно-курортных комплексов, выведение нового подхода к реконструкции и восстановлению рассматриваемых объектов. Из современных архитектурно-градостроительных реалий невозможно исключить близкую советскую и современную архитектуру, разрушающую характерный силуэт южного берега. Однако можно предложить архитектурные, территориально-планировочные, композиционные решения, нивелирующие разрушительное влияние на образ ЮБК тяжелых, безликих, стеклянно-бетонных многоэтажных строений.

Цель исследования: разработать рекомендации по реконструкции зданий и благоустройству территории санаторно-курортных комплексов ЮБК в соответствии с современными строительными нормами и правилами, ожиданиями посетителей и отдыхающих, а также мировыми стандартами.

Задачи исследования:

- рассмотреть историю развития санаторно-курортной отрасли в Крыму;
- проанализировать проблемы функционального наполнения территории выбранных санаторно-курортных комплексов;
- проанализировать архитектурно-планировочные, ландшафтные проблемы выбранных санаторно-курортных комплексов;
- предложить рекомендации по реконструкции зданий и благоустройству территории санаторно-курортных комплексов ЮБК

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Все использованные при подготовке статьи литературные источники соответствуют теме исследования.

1. Авторами были проанализирована информация, размещённая на официальном сайте курортов и туризма Республики Крым. В документе «Государственная программа развития курортов и туризма в Республике Крым» приводятся статистические данные о количественных и качественных характеристиках пассажиропотока в Республику Крым. Описываются туристско-рекреационные кластеры, которые планируют сформировать на территории полуострова.

2. Исследование основано на Федеральном законе от 24 ноября 1996 г. №132-ФЗ «Об основах туристской деятельности в Российской Федерации», в котором регламентируются принципы государственной политики, направленной на формирование единого туристического рынка; установлен порядок рационального использования туристских ресурсов Российской Федерации.

3. В работе Бойко А.Е. «Формирование туристских кластеров как инструмент развития внутреннего туризма в России» рассмотрены условия развития внутреннего туризма, проблемы российской туристской индустрии. Современным инструментом развития туризма предложено формирование туристских кластеров. Изучена модель туристского кластера и составляющие ее элементы.

4. В работе Сидоровой В.В. и Маслий В.В. «Мировой опыт по градостроительному развитию приморских курортов» авторы данной статьи проанализировали отечественный и зарубежный опыт возникновения приморских курортов, а также архитектурно-планировочные принципы градостроительного зонирования, принципы градостроительного развития.

5. Из работы Сидоровой В.В. и Бурлаковой Д.С. «Проблема сохранения природной среды при формировании объектов туризма в горном Крыму» использована информация об особенностях рекреационного освоения территорий Крыма. Проанализированы выделенные авторами природоохранные, градостроительные, конструктивные задачи и рекомендации по организации системы объектов туризма в Крыму.

Таким образом, анализ литературных источников свидетельствует о том, что проблема формирования туристско-рекреационных кластеров на региональном уровне чрезвычайно актуальна и должна быть изучена и обсуждаема специалистами в разных сферах деятельности (градостроителями, архитекторами, социологами, экономистами, инженерами, технологами и т.д.).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе проанализированы теоретические и практические материалы, касающиеся объекта исследования, сделаны выводы. В процессе подбора материалов по теме публикации и анализа полученных результатов применены методы: дедукции, теоретического анализа и синтеза, метод аналогии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Первая половина XIX в. – 1917 г. – время зарождения санаторно-туристической отрасли в Крыму. Родоначальником крымских курортов и грязелечения считается г. Саки, где с 1826 года начал работать павильон для грязелечения. К числу ранних санаторных учреждений относятся пансион «Дарсан» для малоимущих («недостаточных») чахоточных больных (1897 г., Ялта), санаторий в честь императора Александра III (1900 г., Массандра), санаторий им. Императрицы Марии Федоровны (1910 г., Ялта) с аналогичным лечебным профилем.

1917-1944 гг. – это период формирования социалистической системы курортного лечения и отдыха. Декреты советской власти обеспечивали отдых и оздоровление граждан. Дворцы, дачи, особняки отдавались под санатории для рабочих и крестьян, поскольку была поставлена цель в кратчайшие сроки открыть до 25 тысяч коек.

1944-1950 гг. (послевоенное время) – период восстановления санаторно-курортных комплексов.

1951-1990 гг. – период масштабного расширения курортной деятельности и создания региональных

курортных систем. В это время в Крыму сформирована мощная система планового отдыха и туризма.

С 1991 г. в курортном деле начали нарастать негативные тенденции - поток отдыхающих пошёл на убыль, уменьшился объем предоставляемых услуг. В то же время начали развиваться новые виды и формы курортных занятий – водноспортивные, развлекательные, появились аквапарки, тематические парки [8]. С конца 90-х значительно увеличивается количество частных пансионатов, баз отдыха, гостиниц и пр. Однако, многие из них не соответствуют нормативным требованиям, мировым стандартам и ожиданиям туристов.

В настоящее время реконструкция санаторно-курортных комплексов очень актуальна. Так, например, основной целью Государственной программы развития курортов и туризма в Республике Крым является формирование современного туристско-рекреационного комплекса, характеризующегося конкурентной способностью, востребованностью, разнообразием предлагаемых туристических и лечебно-оздоровительных услуг [9].

Для санаторно-курортных комплексов, расположенных на территории ЮБК, характерна одна особенность: наличие в составе объектов культурного наследия и зданий советского периода, которые не обладают художественной выразительностью.

Рассмотрены следующие санаторно-курортные комплексы:

1. Санаторий «Айвазовское»;
2. Санаторий Гурзуфский;
3. Санаторий им. С.М. Кирова;
4. Лечебно-оздоровительный комплекс Нижняя Ореанда;
5. Лечебно-оздоровительный комплекс «Дюльбер»;
6. Санаторий Белоруссия;
7. Санаторий Ай-Петри.

Далее приведена схема расположения рассматриваемых объектов в системе расселения Республики Крым (Рис.1).

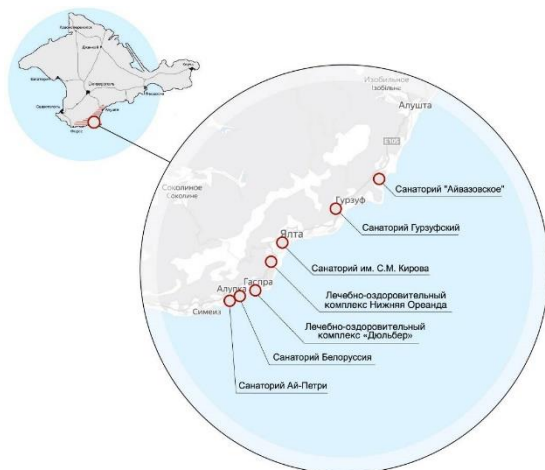


Рис.1 Ситуационная схема расположения рассматриваемых объектов на территории ЮБК
Fig.1 Situational layout of the objects under consideration on the territory of the Southern Railway

При рассмотрении выше указанных санаторно-курортных комплексов выделены следующие недостатки:

Таблица 1. Недостатки санаторно-курортных комплексов
Table 1. Disadvantages of sanatorium-resort complexes

Территория санаторно-курортного комплекса			
1. Недостаток благоустройства	2. Малое функциональное наполнение территории	3. Малое разнообразие и неухоженность растительного ассортимента	4. Недостаток парковочных мест
			
Здания санаторно-курортного комплекса			
1. Несоответствие архитектуры советского периода архитектуре исторических зданий	2. Неудовлетворительное состояние облицовочных материалов	3. Малое функциональное наполнение	4. Несоответствие архитектурно-планировочных условий мировым стандартам. Низкая звездность отелей
			

Ниже представлены результаты анализа каждого из рассмотренных санаторно-курортных комплексов [2, 10-15].



Рис.2 Анализ недостатков лечебно-оздоровительного комплекса «Дюльбер»
Fig.2 Analysis of the shortcomings of the therapeutic complex «Dulber»



Рис.3 Анализ недостатков лечебно-оздоровительного комплекса «Нижняя Ореанда»

Fig.3 Analysis of the shortcomings of the health complex «lower Oreanda»



Рис.4 Анализ недостатков «Санатория им. С.М. Кирова»

Fig.4 Analysis of the shortcomings of «Sanatorium. S. M. Kirov»



Рис.5 Анализ недостатков «Санатория Айвазовское»

Fig.5 Analysis of shortcomings «Sanatorium Aivazovsky»



Рис.6 Анализ недостатков «Санатория Ай-Петри»
Fig.6 Analysis of shortcomings «Sanatorium AI-Petri»



Рис.7 Анализ недостатков «Санатория Гурзуфский»
Fig.7 Analysis of the shortcomings of "Sanatorium Gurzufsky»



Рис.8 Анализ недостатков «Санатория Белоруссия»
Fig.8 Analysis of the shortcomings of " Sanatorium Belarus»

При разработке проектов реконструкции необходимо учесть выделенные в статье недостатки и предложить решения общих проблем санаторно-курортных комплексов. Например, необходимо уделить внимание благоустройству территории и набережной: установке скамеек, фонарей, урн, подвесных вазонов с цветами и др.

Несмотря на то, что некоторые отели имеют детские и спортивные площадки, территория малопривлекательна для посетителей, т.к. оборудование данных пространств устарело. Следовательно, необходима реконструкция существующих площадок на территории парков-памятников, а при новой планировке территории необходимо создать многофункциональное пространство с различными площадками: детскими, общественными, спортивными, тихого отдыха, массовых игр и т.д. При этом необходимо предусматривать дополнительное озеленение.

Следует планировать парковочные места с учетом растущего уровня автомобилизации. Из-за необходимости сохранять наземную территорию для озеленения и благоустройства, желательно проектировать подземные паркинги. В условиях крутого рельефа ЮБК, это будет разумным решением.

Проблему несоответствия архитектуры советского периода архитектуре исторических зданий необходимо решать путем реконструкции советских зданий, с учетом стилистики окружающей застройки. Индивидуально для каждого здания нужно провести экспертизу и решить: оставить его или демтировать и построить новое.

При реконструкции следует предусмотреть многофункциональность здания, включая в его состав кинотеатры, спортивные клубы и др.

Рассмотренные санаторно-курортные комплексы не соответствуют нормативным требованиям, мировым стандартам и ожиданиям туристов. Для получения более высокой звездности существует 2 пути достижения цели: 1 – переоборудование внутренних помещений, 2 – снос здания и строительство нового с учетом всех требований (ширина коридоров, высота потолков, функциональное наполнение и т.д.).

ВЫВОДЫ

1. В последние годы во всем мире увеличиваются объемы инвестиций в санаторно-курортный бизнес, который является одной из ведущих отраслей экономики многих стран мира.

2. Республика Крым имеет отличные предпосылки для развития санаторно-курортной сферы: уникальное историко-культурное наследие, благоприятные природно-климатические условия и географическое положение.

3. История рекреационного развития Крыма берет начало со второй половины XVIII века. Крымское побережье стало очень популярным и

приоритетным местом летнего отдыха российской знати после посещения его Екатериной II. В этот период были построены необыкновенные по красоте и архитектурному разнообразию летние резиденции: дворцовые комплексы, крупные усадьбы, заложены виноградники и созданы уникальные парки. Именно в указанный период возведены многие шедевры крымской архитектуры: Воронцовский дворец, дворец-замок Ласточкино гнездо, Юсуповский дворец, Дворец «Дюльбер» и другие. В Советское время большинство из них переоборудовали под санатории. Однако сегодня существующие санаторно-курортные комплексы не соответствуют нормативным требованиям, мировым стандартам и ожиданиям туристов. Поэтому необходимо создавать новые и реконструировать существующие гостиничные здания. Выбирать метод реконструкции важно для каждого здания индивидуально после комплексного анализа и экспертизы.

4. Уделив внимание благоустройству и функциональному наполнению территории, реконструируя советские здания и выполнив другие рекомендации, о которых было сказано выше, можно создать уникальные санаторно-курортные комплексы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vadimrazumov.ru/102779.html> (дата обращения: 02.02.21).
2. Официальный сайт санатория «Дюльбер» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dulber.com.ua> (дата обращения: 02.02.21).
3. Официальный сайт санатория «Профессорский Уголок» [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://profugolok.ru/> (дата обращения: 02.02.21).
4. Официальный сайт Ливадийского дворца-музея [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://ливадийский-дворец.рф/> (дата обращения: 02.02.21).
5. Официальный сайт [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://archportal-crimea.ru/yalta/villa-bolshoy-bogdan-n.n.-bogdanova.html> (дата обращения: 02.02.21).
6. Официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.krym4you.com/dostoprimechatelnosti/dvory/dvorec-emira-buharskogo/> (дата обращения: 02.02.21).
7. Петров П.Н. Материалы для истории Императорской Академии Художеств, т. I (СПб., 1864 г.), стр. 382, 383, 490, 507, 518, 522, 528, 530, 543, 548 и прим. 552; т. II (СПб., 1865 г.), стр. 10, 69, 202, 203, 246, 355.
8. Кратко об истории курортов Крыма [Электронный ресурс]. – Режим доступа к статье: <http://alfakurort.ru/enciclopediya/35-poleznaya->

informatsiya-o-kryme/287-kratko-ob-istorii-kurortov-kryma.html (дата обращения: 02.02.21).

9. Казьмина А.И., Корой Е.И. Проблемы реконструкции курортных комплексов с решением правильного взаимодействия имеющейся природной и создаваемой искусственной среды // строительство и техногенная безопасность. – № 15(67). – 2019. – С. 15 – 21.

10. Официальный сайт санатория «Нижняя Ореанда» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://oreanda-resort.ru> (дата обращения: 02.02.21).

11. Официальный сайт «Санаторий им. С.М. Кирова» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://im-s-m-kirova.yalta.ncb.su> (дата обращения: 02.02.21).

12. Официальный сайт санатория «Айвазовское» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ayvazovskoe.rf/o-nas/> (дата обращения: 02.02.21).

13. Официальный сайт санатория «Ай-Петри» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://aipetri.com> (дата обращения: 02.02.21).

14. Официальный сайт санатория «Гурзуфский» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gurzufskiy-krym.ru> (дата обращения: 02.02.21).

15. Официальный сайт санатория «Белоруссия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://belorussia-krym.ru> (дата обращения: 02.02.21).

16. Крымский архитектурный портал. Известные архитекторы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://archportal-crimea.ru/architektura-krima/izvestnie-architektori.html> (дата обращения: 02.02.21).

REFERENCES

1. Official website [Electronic resource]. – Access mode: <https://vadimrazumov.ru/102779.html> (date of treatment: 02.02.21).

2. Official website of the sanatorium "Dyulber" [Electronic resource]. – Access mode: <http://dulber.com.ua> (accessed: 02.02.21).

3. Official website of the sanatorium "Professorsky Corner" [Electronic resource]; – Access mode: <https://profugolok.ru/> (accessed: 02.02.21).

4. Official website of the Livadia Palace Museum [Electronic resource]. – Access mode: <http://ливадийский-дворец.рф/> (date of access: 02.02.21).

5. Official website [Electronic resource]. – Access mode: <https://archportal-crimea.ru/yalta/villa-bolshoy-bogdan-n.n.-bogdanova.html> (accessed: 02.02.21).

6. Official website [Electronic resource]: – Access mode:

<https://www.krym4you.com/dostoprimechatelnosti/dvory/dvorec-emira-buharskogo/> (accessed: 02.02.21).

7. Petrov P.N. Materials for the history of Imp. Academy of Arts, vol. I (St. Petersburg, 1864), p. 382, 383, 490, 507, 518, 522, 528, 530, 543, 548 and ed. 552; vol. II (St. Petersburg, 1865), p. 10, 69, 202, 203, 246, 355.

8. Briefly about the history of Crimean resorts [Electronic resource]. – Mode of access to the article: <http://alfakurort.ru/enciclopediya/35-poleznaya-informatsiya-o-kryme/287-kratko-ob-istorii-kurortov-kryma.html> (accessed: 02.02.21).

9. Kazmina A. I., Koroy E. I. Problems of reconstruction of resort complexes with the solution of the correct interaction of the existing natural and created art environment // Construction and technogenic safety. – No. 15 (67). – 2019. – p. 15 – 21.

10. The official website of the sanatorium "Nizhnyaya Oreanda" [Electronic resource]. – Access mode: <http://oreanda-resort.ru> (date of reference: 02.02.21).

11. Official website of "Sanatorium named after S. M. Kirov" [Electronic resource]. – Access mode: <http://im-s-m-kirova.yalta.ncb.su> (date of treatment: 02.02.21).

12. The official website of the sanatorium "Aivazovskoe" [Electronic resource]. – Access mode: <https://ayvazovskoe.rf/o-nas/> (accessed: 02.02.21).

13. Official website of the sanatorium "Ai-Petri" [Electronic resource]. – Access mode: <https://aipetri.com> (accessed: 02.02.21).

14. The official website of the sanatorium "Gurzufsky" [Electronic resource]. – Access mode: <http://gurzufskiy-krym.ru> (accessed: 02.02.21).

15. Official website of the sanatorium "Belarus" [Electronic resource]. – Access mode: <https://belorussia-krym.ru> (reference date: 02.02.21).

16. Krymskiy arkhitekturnyy portal. Izvestnyye arkhitektory. [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://archportal-crimea.ru/architektura-krima/izvestnie-architektori.html> (data obrashcheniya: 02.02.21).

ANALYSIS OF SANATORIUM-RESORT COMPLEXES OF THE SOUTHERN COAST OF CRIMEA IN ORDER TO DERIVE GENERAL RECOMMENDATIONS FOR THEIR RECONSTRUCTION

Nagaeva Z.S., Zhivitsa V.V., Malakhovskaya A.I.

Academy of Construction and Architecture of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
«V.I. Vernadsky Crimean Federal University».
295493, Republic of Crimea, Simferopol, Kievskaya street, 181
alina_malakhovskaya@mail.ru

Summary: This paper examines and analyzes the history of the development of the sanatorium and tourism industry in the Crimea, analyzes the sanatorium and resort complexes of the southern coast of Crimea and gives recommendations for their reconstruction. The paper highlights 5 characteristic periods of development of the Spa industry in the Crimea. The first period-the beginning of the XIX century. - 1917-the time of origin of the sanatorium and tourism industry in the Crimea. The appearance of the first Crimean resorts and sanatoriums mud treatment in Saki. During this period, opened: boarding house "Darsan" (1897, Yalta), sanatorium in honor of the Emperor Alexander III (1900, village. Massandra), sanatorium. Empress Maria Feodorovna (1910, Yalta). The second period-1917-1944 - was the period of formation of the socialist system of Spa treatment and recreation. At this time, palaces, cottages, mansions were given over to sanatoriums for workers and peasants. The third period-1944-1950 (post-war time) - the period of restoration of sanatorium-resort complexes. The fourth period – 1951-1990. during this period, a powerful system of planned recreation and tourism was formed in the Crimea. The fifth period-1991 – present. Since the late 90's, the number of private boarding houses, recreation centers, and hotels has increased significantly. However, many of them do not meet regulatory requirements, international standards and expectations of tourists.

Considered Spa complexes are located on the territory of the southern coast of Crimea. These institutions are United by one feature: the presence in its composition of cultural heritage and buildings of the Soviet period, which do not have artistic expression. The article analyzes the shortcomings of Spa complexes and gives recommendations for their reconstruction.

Subject: sanatorium-resort complexes in need of renovation.

Materials and methods: the solution of the research tasks was carried out using the analysis of scientific, literary and regulatory sources; Internet search and analysis of examples of reconstruction of buildings.

Results: based on the analysis, General recommendations for the reconstruction of Spa complexes are derived. Paying attention to the improvement and functional content of the territory, reconstructing Soviet buildings and following other recommendations that were mentioned in this work, you can create Spa complexes that will attract tourists and become the business cards of the Peninsula.

Conclusions: it is necessary to carry out a comprehensive study of Spa complexes, in order to identify factors that affect the studied objects and identify existing problems. The result of the above work should be an effective solution for the reconstruction of buildings and landscaping in accordance with modern building codes, expectations of visitors and vacationers, as well as international standards. In addition, the above analysis is useful in the design of new Spa complexes.

Key words: reconstruction, restoration, sanatorium-tourist industry, sanatorium-resort complex, cultural heritage object.

Раздел 2. Строительство

УДК 699.841:69.032.22 DOI: 10.37279/2413-1873-2021-20-15-22

РАЗВИТИЕ КОНСТРУКЦИЙ И ТЕХНОЛОГИИ ВЫСОКОТОЧНОГО МОНТАЖА ТРУБОБЕТОННЫХ КОЛОНН КИНЕМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ КАРКАСОВ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

Андронов¹ А.В., Семенов² С.Ю., Шаленный¹ В.Т.

¹Крымский Федеральный университет им. В.И. Вернадского, Академия строительства и архитектуры
295943, г. Симферополь, ул. Киевская, 181,

²Сочинский государственный университет, Инженерно-экологический факультет
354000, Краснодарский край, г. Сочи, ул. Политехническая, д. 7

e-mail: ¹andronovav58@mail.ru, ²smu5sochi@mail.ru, ¹v_shalennyj@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются, выбранные в качестве перспективных, системы сейсмической изоляции кинематического типа, впервые предложенные в бывшем Советском Союзе профессором Черепинским Ю.Д. Дальнейшее развитие данная технология получила в работах профессора Курзанова А.М., внедрившего свои разработки на объектах Краснодарского края РФ. Однако и проанализированная инновационная отечественная технология не лишена недостатков в части точности монтажа и конструкции шарнирных узлов опирания трубобетонных колонн цокольного этажа.

Предмет исследования: конструкция и технология устройства сейсмоизоляции надземных этажей гражданских зданий при помощи кинематических систем из трубобетонных колонн.

Материалы и методы: анализ состояния вопроса с характеристикой позитивных и негативных сторон существующей технологии, обоснование путей возможного прогрессивного развития конструкций и технологии устройства сейсмоизолирующих систем кинематического типа, повышающих надежность их работы под сейсмической нагрузкой. Создание графических моделей узлов опирания трубобетонных колонн, реализующих намеченные направления в конкретные конструктивные решения и технологию их реализации.

Результаты: Запатентованные конструкции узлов шарнирного опирания трубобетонных колонн кинематических систем сейсмической изоляции каркасов гражданских объектов и технологическая схема их выверки и высокоточного монтажа.

Выводы: Обосновано предложены новые конструктивные решения узлов шарнирного опирания трубобетонных колонн кинематических систем сейсмической изоляции, а также усовершенствованная технология их монтажа, предполагающие повышение надежности их долговременной эксплуатации в районах повышенной сейсмической активности.

Ключевые слова: кинематические системы сейсмоизоляции, технология высокоточного монтажа.

ВВЕДЕНИЕ

В современном строительстве актуальными остается обеспечение надёжности проектируемых зданий и сооружений в сейсмоопасных районах, к которым относится и территория Республики Крым. Не менее важной представляется проблема ресурсоемкости сейсмостойкого строительства. Одно и то же здание, построенное в разных регионах, в зависимости от сейсмического районирования, будет существенно отличаться по показателям удельного расхода стали, бетона и других ресурсов. Количественную оценку такой взаимосвязи представлено во многих публикациях, например, в работах, выполненных под руководством профессора Татьяны Дмитриевны Никифоровой [1, 2]. Там утверждается, что расчётная стоимость возведения одного и того же объекта исследования увеличивается в несколько раз по сравнению с его проектированием без учёта сейсмичности района строительства. В результате делается, поддерживаемый и нами, вывод о необходимости совершенствования конструктивных систем зданий с целью снижения ресурсоемкости строительства зданий в районах с

повышенной сейсмической активностью. И наоборот, применяя известные отечественные кинематические системы защиты каркасов зданий и сооружений, удастся добиться существенной экономии удельных ресурсов. Так, по расчетам доцента Иваненко Н.А. из Сочинского государственного университета, внедрение системы кинематических трубобетонных опор сейсмической защиты каркаса надземной части, как пример, на конкретном построенном восьмизэтажном здании гражданского назначения в г. Сочи, обеспечило экономический эффект в 7млн. рублей только за счет экономии железобетона [3]. Таким образом, развитие и внедрение усовершенствованной конструктивно-технологической системы сейсмической изоляции каркасов многоэтажных гражданских зданий до настоящего времени представляется актуальной научно-прикладной задачей.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА, ФОРМИРОВАНИЕ ЦЕЛИ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Наш предварительный выбор и обоснование целесообразности применения разработанных еще в

бывшем Советском Союзе кинематических систем сейсмоизоляции представлено в [4]. Сначала такие системы в виде кинематических фундаментов (КФ) разрабатывал и внедрял преимущественно на Дальнем Востоке профессор Черепинский Ю.Д. [5]. Завершая свою упомянутую монографию, профессор Черепинский Ю.Д. спрогнозировал возможность дальнейшего развития данного направления: «... никакое решение нельзя считать завершенным. По-видимому, новые технологии в строительстве, связанные с использованием более качественных материалов могут повлиять на форму КФ и узлы их сопряжения с конструкциями зданий. Этот процесс нельзя остановить» [5, с. 47]. И действительно, затем принципиальную идею КФ подхватил инженер Назин В.В., запроектировавший и реализовавший проект строительства двух гражданских объектов в г. Севастополе [6]. И наконец, относительного совершенства в конструкции кинематических сейсмоизолирующих опор добился профессор Курзанов А.М., в творческом содружестве с доцентом Семеновым С.Ю. из Сочинского СМУ №5. Они запатентовали конструкцию [7] и реализовали на практике несколько строительных проектов на юге России [8, 9].

Замена железобетона на трубобетонные сборно-монолитные конструкции «качающихся» колонн в кинематической системе сейсмической изоляции надземной части каркаса стало реальным воплощением основополагающего предвидения профессора Черепинского Ю.Д. в части использованных новых материалов и узлов сопряжения элементов конструкции кинематических систем. В части применения высокопрочных фибро- и мелкозернистых бетонов для сейсмостойкого строительства считаем уместным привести пример защищенной в прошлом году диссертации Мажиевой А.М. [10], где обосновывается целесообразность применения разработанных инновационных бетонов для зданий с представленными сейсмоизолирующими фундаментами.

Аннотировано представленные выше материалы позволяют положительно характеризовать уже достаточно апробированную отечественную систему кинематических трубобетонных опор, более детально изучить ее с точки зрения возможности совершенствования конструкции и надежности ее реализации в массовом гражданском строительстве.

В результате было отмечено сложность, и даже не возможность, получения необходимой, достаточно высокой точности монтажа разработанной и уже многократно внедрённой конструктивно-технологической системы. Так, проектными рекомендациями по отклонениям от вертикали при монтаже трубобетонных колонн активной сейсмоизоляции устанавливается их предельная допустимая величина в 2 см. Эта величина может быть обеспечена только при надлежащей контролируемой точности установки

нижней части разъёмных стальных опор, предварительно зафиксированных на арматурном каркасе монолитного фундамента будущего сооружения. Даже если все опоры в пределах захватки будут установлены и временно закреплены после высокоточной геодезической поверки их положения с необходимым составлением акта исполнительной съёмки, то в процессе последующего бетонирования фундамента не возможно полностью исключить их, пусть и не значительные, смещения упомянутых опор. После твердения бетона, даже обнаружив их наличие и величину, полученный брак становится практически не устранимым. А если его не исправлять, то впоследствии смонтированная вышерасположенная конструктивная система не сможет должным образом воспринимать проектные сейсмические нагрузки. Как нам представляется, даже при небольшом наклоне соседних опор в противоположные стороны, практически всегда характерном для строительной точности производства железобетонных и монтажных работ, возможно появление дополнительных усилий и деформаций, наоборот способствующих разрушению отдельных конструкций построенного здания. А это влечёт за собой возможное прогрессирующее обрушение всего железобетонного каркаса объекта строительства (Рис. 1).

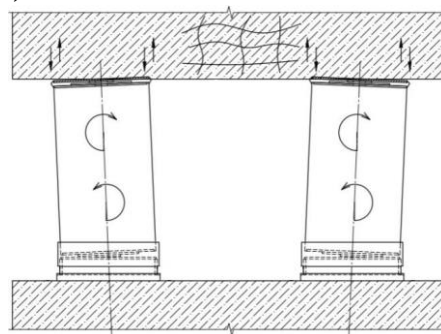


Рис. 1. Причина появления запроектных усилий, деформаций и разрушений каркаса из-за возможного асимметричного расположения трубобетонных сейсмоизолирующих опор в случаях обычно достижимой строительной точности их монтажа

Fig. 1. The reason for the appearance of design efforts, deformations and destruction of the frame due to the possible asymmetric arrangement of pipe-concrete seismic-isolating supports in cases of usually achievable construction accuracy of their installation

Чтобы избежать такого, пусть и мало вероятного, будущего негативного развития событий, предложена достаточно простая и мало затратная доработка проанализированной технологии устройства кинематических трубобетонных опор активной сейсмозащиты, получившая правовую охрану как патент РФ на полезную модель №193791 U1, СПК E02D 27/34, E04C3/34 (2019.02) [11], развивающая основное изобретение проф. Курзанова А.М. и доцента Семенова С.Ю. В основе усовершенствования – известные конструктивные решения из технологии без выверочного монтажа

стальных колонн на предварительно установленные и забетонированные фрезерованные плиты их нижней базовой части.

Такие первоначальные предложения были изложены в упомянутой статье [4] и очно доложены на международном научном семинаре, посвящённом 110-летию со дня рождения профессора Савинова Олега Александровича в Петербургском государственном университете путей сообщения Императора Александра I 3–5 февраля 2020г. с публикацией соответствующей статьи [12] аж в конце прошлого года.

В целом положительные комментарии редакционной коллегии авторитетного журнала на доклад в виде опубликованной в том же номере журнала статьи профессора Уздина А.М. [13] воодушевили нас на дальнейшие исследования с целью доработки конструкции и технологии устройства кинематических систем сейсмоизоляции с трубобетонными качающимися колоннами профессора Курзанова А.М. При этом в настоящей статье поставлены и решаются **задачи** повышения точности устройства нижней стальной закладной детали монолитного фундамента сооружения, конкретизируется в связи с этим конструктивное решение сопряжения элементов шарнирного узла, а также излагается поэтапное возведение конструкций подземной части многоэтажного железобетонного каркаса гражданских объектов. Что и составляет дальнейшее содержание настоящей работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первоначально предложенная и представленная ранее конструкция нижнего шарнирного узла предполагала бетонирование фундамента вместе с анкерными болтами и монтаж закладной детали вместе с радиально приваренными к ней проушинами. Но эти элементы необходимы только на период набора прочности подливкой из фибробетона. Далее, перед началом эксплуатации построенного объекта, их предполагалось срезать. То есть, анкерные болты, проушины и опалубка использовались бы однократно и обязательно требовали бы дополнительных операций по их срезке, например, дисковыми отрезными кругами.

Поэтому в основу усовершенствования нижнего шарнирного узла кинематической трубобетонной сейсмоизолирующей опоры на монолитном фундаменте далее была поставлена задача многократного использования радиально приваренных проушин и анкерных болтов. Это как уменьшит расход материалов на эти элементы, так и упростит технологию устройства монолитного фундамента – отпадает необходимость установки и фиксации, а затем – ликвидации как анкерных болтов, так и проушин, радиально приваренных к закладной детали фундамента. Чтобы решить поставленную таким образом задачу, предложена усовершенствованная конструкция нижнего шарнирного узла кинематической трубобетонной

сейсмоизолирующей опоры на монолитном фундаменте (Рис. 2).

Усовершенствованная технология устройства нижнего шарнирного узла сейсмоизолирующей трубобетонной опоры на монолитном железобетонном фундаменте 1 по патенту на полезную модель №200348 U1 заключается в ниже следующем. Сначала производят бетонирование фундамента 1 таким образом, чтобы его верх оказался на несколько сантиметров ниже от проектной установки низа закладной детали 2. Далее производят горизонтальную разметку будущего положения детали 2, например, при помощи шаблона, с одновременным расположением отверстий 5 под анкерные болты 3 на фундаменте 1. Высверливают отверстия 5 в фундаменте 1, куда затем, при помощи пробок, раздвижных анкеров или на клею, фиксируют анкерные болты 3 с нижними регулировочными гайками 10. На наружной вертикальной поверхности цилиндрической закладной детали 2 монтируют съёмную опалубку 6. Затем она фиксируется стяжным хомутом 8 при помощи болтового соединения 9. Радиально приваренные на хомуте 8 проушины 4 насаживают на анкерные болты 3 до упора в нижние регулировочные гайки 10 с шайбами. Сверху проушин 4, на анкерные болты 3, также навинчивают регулировочные гайки 10. Вращением этих гаек 10 в двух направлениях приводят верх закладной детали 2 в необходимое проектное положение, контролируемое высокоточными геодезическими приборами. После выверки положения всех, предусмотренных проектом, закладных деталей 2 в пределах захватки, приступают к устройству подливки 7 из фибробетона через верхнее отверстие в закладной детали 2. Вытекание подвижного раствора подливки 7 предотвращается огибающей её съёмной эластичной опалубкой 6 в виде отрезка трубы, соприкасающегося своим нижним торцом с фундаментом 1. После набора прочности подливкой 7, ослабляют болтовое соединение 9 хомута 8 на опалубке 6 из резины. На проушинах 4 хомута 8 закладной детали 2 свинчивают верхние гайки 10 с анкерных болтов 3. Вместе с проушинами 4, хомут 8 снимают с закладной детали 2 и анкерных болтов 3. Выворачивают анкерные болты 3 из отверстий 5 в монолитном фундаменте 1 и снимают опалубку 6 с закладной детали 2. Теперь опалубку 6, хомут 8 и анкерные болты 3 с регулировочными гайками 10 можно использовать повторно при устройстве следующего узла сталежелезобетонной колонны сейсмозащищённого строительного объекта.

Но, как мы предполагаем, и в процессе работы по восприятию и гашению сейсмической нагрузки у данной конструкции также просматривается недостаток в надёжности выполнения обозначенной ее основной функции по ниже следующей причине. В момент отрыва вышерасположенной части шарнирного узла от закладной детали фундамента с отклонением первой от вертикали, неизбежно появится зона их почти точечного контакта и

передачи в этой зоне всей вертикальной составляющей нагрузки. Возникающие при этом мощные усилия обжатия неизбежно деформируют шарнирный узел в контактной зоне путём её смятия и дальше система уже не сможет надёжно воспринимать последующие сейсмические импульсы. Причём эта зона необратимых пластических деформаций может образоваться как на закладной детали, так и в нижней торцевой части стальной колонны. Изначально не определённое место смятия стальных элементов шарнирного узла и предопределяет дальнейшую не достаточно надёжную работу сейсмоизолирующей системы.

Поэтому в основу следующей полезной модели (заявка № 2021 101 281 от 21.01.21г.) поставлена задача повышения надёжности работы кинематической сейсмоизолирующей опоры. Для чего предлагается ввести в систему промежуточный податливый элемент – шайбу из мягкого металла, например, свинца, сознательно предназначенного для первоначального деформирования со смятием и образованием части шарообразной контактной поверхности шарнира. Дополнительный промежуточный упругий элемент необходим и в зоне прилегания вертикальной поверхности гасителя к такой же поверхности закладной детали фундамента. Для чего предлагается ввести ещё один новый элемент – кольцевую прокладку из упругого материала, например, из резины, зафиксированную на закладной детали фундамента. Она в процессе монтажа сработает как направляющая-ловитель для точной надёжной установки труботонной опоры, а при восприятии сейсмических импульсов – как амортизирующий элемент, гасящий гармонические затухающие колебания (Рис. 3).

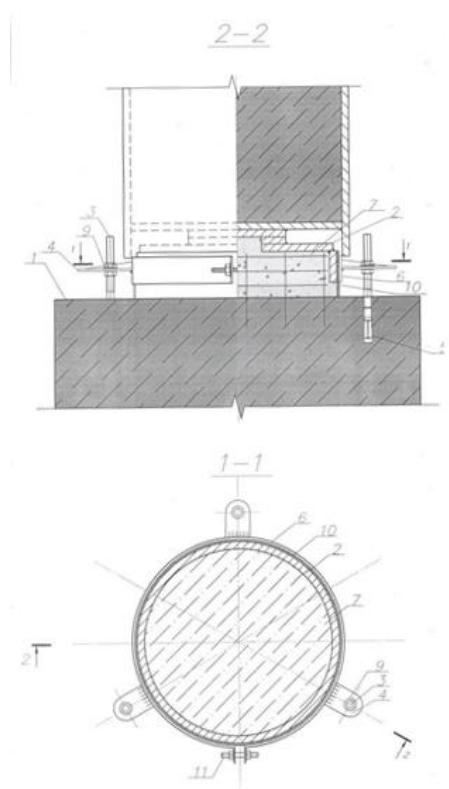


Рис. 2. Совмещённый с продольным разрезом общий вид нижнего шарнирного узла с регулировкой положения его стальной закладной детали при помощи съёмной опалубки для подливки из мелкозернистого высокопрочного безусадочного бетона

Fig. 2. Combined with a longitudinal section, the general view of the lower hinge assembly with the adjustment of the position of its steel embedded part by means of a removable formwork for gravity made of fine-grained high-strength non-shrinkable concrete

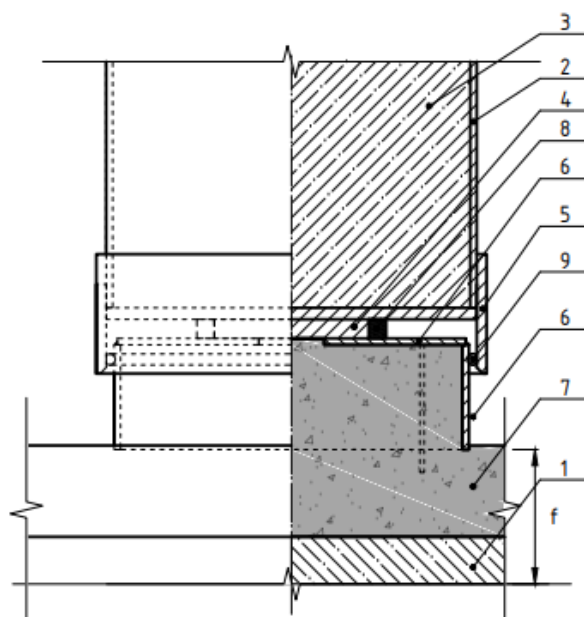


Рис. 3. Конструкция нижнего шарнирного узла сейсмоизолирующей опоры с упруго-пластичными промежуточными элементами повышения надёжности его работы

Fig. 3. Design of the lower hinge assembly of the seismic isolation support with elastic-plastic intermediate elements to increase the reliability of its operation

Технология устройства новой кинематической сейсмоизолирующей трубобетонной опоры и ее работа под сейсмической нагрузкой заключается в ниже следующем. Вначале на строительной площадке производится бетонирование фундамента 1 таким образом, чтобы его верх оказался несколько ниже от будущей проектной отметки установки низа закладной детали 6 на величину f . Изготовление собственно стальных колонн из труб 2, заполненных железобетоном 3 с ограничителем и гасителем 5, осуществляется заблаговременно в заводских условиях с высокой машиностроительной точностью. После бетонирования фундамента 1, на него производят установку и выверку закладной детали 6 с последующим заполнением полученного пространства слоем подливки 7 из высокопрочного безусадочного бетона, например, фибробетона. После набора прочности фибробетоном подливки 7 приступают к монтажу колонны 2, предварительно оснастив ее нижней выступающую торцевую часть шарнирного узла 4 шайбой 8 из свинца.

А на боковую поверхность цилиндрической закладной детали 6 одевают и фиксируют кольцевую прокладку 9 из упругого материала, например, резины. Такая фиксация возможна и происходит, например, путём ее частичного втапливания в тело закладной детали 6. Для чего в ней предусматривают кольцевую проточку. Наведение на место и установка колонны 2 с ограничителями 5 и шайбой 8 происходит автоматически при ее опускании, так как ограничители 5 выполняют в это время функцию улавливателей, точно ориентирующих колонну на место установки на закладной детали 6 фундамента 1 посредством прокладки 9.

Во время работы кинематической трубобетонной сейсмоизолирующей опоры предполагаются и происходят следующие перемещения и деформационные процессы. Пришедший от эпицентра землетрясения, преимущественно горизонтальный импульс, через фундамент 1, подливку 7 и закладную деталь 6 стремится также сместить и сталежелезобетонную колонну 2. Но при этом она начинает приподыматься и наклоняться в сторону от вертикального проектного положения, как и во всех других известных ранее системах кинематических сейсмоизолирующих опор. В шарнирном узле 4 уменьшается площадь контакта торцов колонны 2 и закладной детали 6. Находясь на периферии шарнирного узла 4, первым начинает работать на смятие вначале более мягкий материал шайбы 8. Таким образом, он первым подвергается пластической деформации и изменит свою форму в сторону, близкую к шаровидной контактной поверхности. В это же время, ограничитель 5 начинает взаимодействовать с вертикальной поверхностью закладной детали 6 через упругую кольцевую прокладку 9, работающую в данный момент как амортизатор. Наступает момент крайнего неустойчивого равновесия, после которого колонна, под действием собственного веса и

вышележащих строительных конструкций, стремится вернуться в начальное вертикальное положение. И, под действием неизбежно возникшего инерционного импульса, колонна продолжит некоторое время колебаться, до затухания. И если придёт и наложится следующий сейсмический импульс, то процесс будет повторяться по мере повтора внешних возмущений. Но в целом, за счёт введённых новых промежуточных пластических и упругих элементов с их предложенной взаимосвязью, предложенная сейсмоизолирующая система будет работать более надёжно, как во время её монтажа, так и сопротивляясь возможному сейсмическому воздействию в процессе длительной эксплуатации.

Таким образом, к настоящему времени, сформирована усовершенствованная организационно-технологическая схема производства работ по устройству сейсмозащитных конструкций нулевого цикла возведения многоэтажных гражданских зданий с трубобетонными опорами кинематического принципа работы, представленная на Рис. 4.

Бетонирование фундаментной плиты предполагается в два этапа: основного массива из менее прочного железобетона и устройство высокопрочного верхнего слоя из безусадочного фибробетона, одновременно заполняющего и внутренне пространство выверенных закладных деталей будущего шарнирного узла трубобетонных колонн. Очевидно, что разработка таких бетонов может составить отдельную научно-прикладную тему, доработка и оценка несущей способности сейсмоизолирующей системы в результате теоретических исследований и экспериментальных работ также необходимы для дальнейшего производственного внедрения сформулированной конструктивно-технологической базы. А в целом, просматривается перспектива комплексного научно-прикладного проекта, который может быть заявлен и претендовать на грантовую поддержку РФФИ и других заинтересованных инвесторов. Пока же работа выполняется как инициативная с привлечением обучающихся в качестве исполнителей [11, 14, 15] при подготовке выпускных квалификационных работ магистров.

ВЫВОДЫ

В результате проведённых исследований состояния вопроса и производственного опыта сейсмостойкого строительства на Дальнем Востоке и юге РФ, обосновано предложены новые конструктивные решения узлов шарнирного опирания трубобетонных колонн кинематических систем сейсмической изоляции, а также инновационная технология их монтажа, предполагающие повышение надёжности их долговременной эксплуатации в районах повышенной сейсмической активности. Предполагаем развитие полученных результатов при проектировании и реализации разработанной технологии с участием в конкурсе инновационных проектов РФФИ.

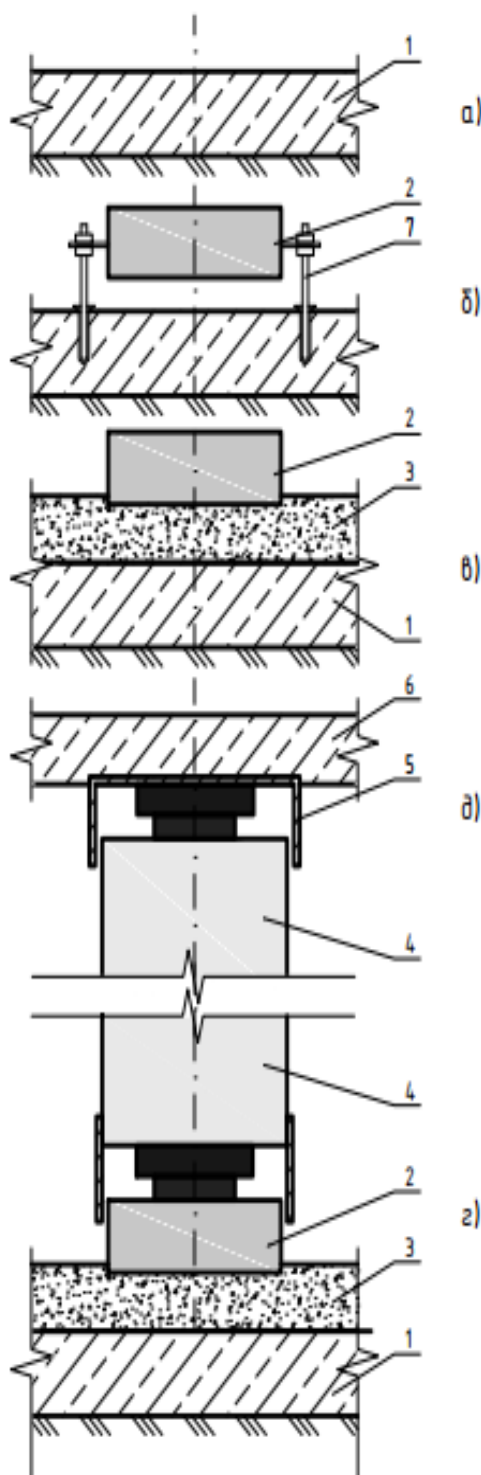


Рис. 4. Этапы производства работ нулевого цикла с монтажом кинематических трубобетонных сейсмо изолирующих колонн:

- а) – устройство котлована и нижней части монолитной фундаментной плиты;
 б) – установка, выверка и временное закрепление нижней закладной детали колонны;
 в) – устройство высокопрочной безусадочной подливки фундамента;
 г) – без выверочный монтаж трубобетонных колонн;
 д) – установка верхней закладной детали и бетонирование перекрытия подвальной части здания:
 1 – фундаментная плита в котловане;
 2 – нижняя закладная деталь трубобетонной колонны 4;
 3 – подливка;
 5 – верхняя закладная деталь колонны 4;
 6 – монолитное железобетонное перекрытие цокольного этажа;
 7 – элементы устройства для установки, выверки и временного закрепления закладной детали 2

Fig. 4. Stages of the production of works of a zero cycle with the installation of TCC kinematic seismic isolation of columns:

- a) the device of the trench and the bottom of a monolithic Foundation slab;
 b) the installation, alignment and temporary mortgage attaching the lower parts of the column;
 c) device high strength non-shrink grout Foundation;
 b) – bezvorotny installation of tube-confined concrete columns;
 d) the installation of the top mortgage details and concrete ceiling basement area:
 1 – base plate in the pit;
 2 – lower mortgage detail composite columns 4;
 3 – gravity;
 5 – top mortgage item column 4;
 6 – reinforced concrete of the basement floor;
 7 – elements of the device for installation, alignment and temporary securing the fixture 2

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адил Джаббар Аббас, Никифорова Т.Д., Шляхов К. В., Сопильняк А. М. Влияние сейсмичности строительной площадки на материалоемкость многоэтажного здания //Вестник Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры. – 2019. - №6(259-260). – С.10-17.

2. Influence of the seismicity of the construction site on structural parameters of the buildings / [Adil Jabbar Abbas, Nikiforova Tetiana] // Innovative

lifecycle technologies of housing, industrial and transportation objects: Dnipro–Bratislava: SHEE “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture” – Slovak University of Technology in Bratislava, 2018. – Pp. 11–20.

3. Иваненко, Н.А. Расчет здания с кинематической системой сейсмоизоляции //Евразийский форум по сейсмической безопасности сооружений и городов <http://2017http://2017.seismo.ru/tezisyi.html>.

4. Шаленный, В.Т. Обеспечение повышенной точности монтажа отечественных кинематических

систем сейсмозащиты каркасов гражданских зданий //Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2020. № 3-4 (254-255). С. 28-30.

5. Черепинский, Ю.Д. Сейсмоизоляция зданий. Строительство на кинематических фундаментах. – М.: Blue Apple. 2009. 47с.

6. Назин, В.В. Новые сейсмостойкие конструкции и железобетонные механизмы сейсмоизоляции зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1993, 135с.

7. Курзанов, А.М. Трубобетонная сейсмоизолирующая опора (патент) /А.М. Курзанов, С.Ю. Семенов //Пат. 2011126 415 РФ, МПК E02D 27/34 (2006.01). Дата публикации заявки 10.03.2013. Бюл. № 7. – 5 с.

8. Курзанов, А.М., Шабалин, Г.А., Семенов С.Ю. К вопросу о применении резинометаллических опор, изготовленных в Китае, в сейсмостойком строительстве России //Промышленное и гражданское строительство, 2009, №7, С.54-55.

9. Курзанов, А.М., Шабалин, Г.А., Семенов С.Ю. О сейсмоизоляции гостинично-туристического комплекса «Sea Plaza» в г. Сочи //Промышленное и гражданское строительство, 2010, №5, С.55-57.

10.Мажиева, А.М. Совершенствование методов расчета, сейсмоизолирующих конструкций и специальных мелкозернистых бетонов сейсмостойких зданий и сооружений. Автореф. дис. к.т.н. – 05.23.01 - строительные конструкции, здания и сооружения. – ДГТУ. – Ростов - на Дону. 2020, 24с.

11. Пат. № 193791 U1, Российская Федерация, СПК E02D 27/34 (2019.02), E04C3/34 (2019.02). Трубобетонная сейсмоизолирующая опора на железобетонном фундаменте /В.Т. Шаленный, Н.Ю. Воронцов, А.В. Андронов. – заявка №2019122743. – Заявл. 15.07.2019; опубл. 15.11.2019, Бюл. № 32. – 5с

12. Шаленный, В.Т. Конструктивно-технологические мероприятия для повышения надёжности активной и пассивной сейсмозащиты сборно-монолитных каркасов гражданских зданий в Крыму // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2020. №6(49). – С19-21.

13. Уздин, А.М. Комментарии редакционной коллегии к статье проф. В.Т. Шаленного «Конструктивно-технологические мероприятия для повышения надёжности активной и пассивной сейсмозащиты сборно-монолитных каркасов гражданских зданий в Крыму» // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2020. №6(49). – С12-24.

14. Пат. № 200348 U1, Российская Федерация, МПК E02D 27/00 (2020.05), Нижний шарнирный узел сейсмоизолирующей опоры в трубобетонном варианте на монолитном фундаменте / А.В. Андронов, И.Ш. Арифов, В.Т. Шаленный. – заявка №2020 119829. – Заявл. 08.06.2020; опубл. 20.10.2020, Бюл. №29. – 5с., 2 ил.

15. Арифов, И.Ш. Конструкция и усовершенствованная технология устройства

сейсмоизолирующих трубобетонных опор многоэтажных каркасов гражданских зданий // Инновационное развитие строительства и архитектуры: взгляд в будущее. Сборник тезисов участников Международного студенческого строительного форума, посвящённого 60-летию Академии строительства и архитектуры. 2020. С.62-65.

REFERENCES

1. Adil Jabbar Abbas, Nikiforova T.D, Shliakhov K.V., Sopilniak A. M. The effect of the seismicity of the construction site on the material consumption of a multi-story building // [Bulletin of PSACEA. 2019, No6, Pp.10–17.
DOI:10.30838/J.BPSACEA.2312.261119.10.58.2.

2. Influence of the seismicity of the construction site on structural parameters of the buildings / [Adil Jabbar Abbas, Nikiforova Tetiana] // Innovative lifecycle technologies of housing, industrial and transportation objects: Dnipro-Bratislava: SHEE “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture” – Slovak University of Technology in Bratislava, 2018. – Pp. 11–20.

3. Ivanenko, N.A. Calculation of a building with a kinematic seismic isolation system // Eurasian Forum on Seismic Safety of Structures and Cities <http://2017http://2017.seismo.ru/teziyi.html>.

4. Shalenny, V.T. Ensuring increased accuracy of installation of domestic kinematic systems for seismic protection of the frames of civil buildings // Building materials, equipment, technologies of the XXI century. 2020. No. 3-4 (254-255). S. 28-30.

5. Cherepinsky Yu.D. Seismic isolation of buildings. Construction on kinematic foundations. – М.: Blue Apple. 2009,47с.

6. Nazin V.V. New earthquake-resistant structures and reinforced concrete mechanisms of seismic isolation of buildings and structures. – М.: Stroyizdat, 1993, 135с.

7. Kurzanov A.M. Concrete seismic isolation support (patent) / A.M. Kurzanov, S.Yu. Semenov // Pat. 2011 126 415 RF, IPC E02D 27/34 (2006.01). Application publication date 10.03.2013. Bul. No. 7. – 5p.

8. Kurzanov, A.M., Shabalin, G.A., Semenov S.Yu. On the question of the use of rubber-metal bearings made in China in earthquake-resistant construction in Russia // Industrial and civil construction, 2009, No. 7, pp.54-55.

9. Kurzanov, A.M., Shabalin, G.A., Semenov S.Yu. On seismic isolation of the Sea Plaza hotel and tourist complex in Sochi // Industrial and civil construction, 2010, No. 5, pp.55-57.

10. Mazhieva A.M. Improvement of calculation methods, seismic insulating structures and special fine-grained concrete of earthquake-resistant buildings and structures. Author's abstract. dis. ... с. Т. N. – 05.23.01 – building structures, buildings and structures. – DSTU. – Rostov - on the Don. 2020, 24s.

1. Pat. No. 193791 U1, Russian Federation, SPK E02D 27/34 (2019.02), E04C3 / 34 (2019.02). Seismic-insulating pipe-concrete support on a reinforced concrete foundation / V.T. Shalenny, N.Yu. Vorontsov, A.V. Andronov. – application No. 2019122743. – Applied. 07/15/2019; publ. 11/15/2019, Bul. No. 32. – 5s.

12. Shalenny V.T. Constructive and technological measures to improve the reliability of active and passive seismic protection of prefabricated monolithic frames of civil buildings in the Crimea // Natural and technogenic risks. Safety of structures. 2020. No. 6 (49). – S19-21.

13. Uzdin, A.M. Comments of the editorial board to the article by prof. V.T. Shalenny "Constructive and technological measures to improve the reliability of active and passive seismic protection of prefabricated monolithic frames of civil buildings in the Crimea" //

Natural and technogenic risks. Safety of structures. 2020. No. 6 (49). – S12-24.

14. Pat. No. 200348 U1, Russian Federation, IPC E02D 27/00 (2020.05), Lower hinge joint of an earthquake-isolating support in a pipe-concrete version on a monolithic foundation / A.V. Andronov, I. Sh. Arifov, V.T. Naughty. – Application No. 2020 119829. – Appl. 06/08/2020; publ. 20.10.2020, Bul. No. 29. – 5s., 2 ill.

15. Arifov, I.Sh. Design and improved technology for the construction of seismic-insulating pipe-concrete supports of multistory frames of civil buildings // Innovative development of construction and architecture: a look into the future. Collection of abstracts of the participants of the International Student Construction Forum dedicated to the 60th anniversary of the Academy of Civil Engineering and Architecture. 2020. P.62-65.

DEVELOPMENT OF CONSTRUCTIONS AND TECHNOLOGIES OF HIGH-PRECISION INSTALLATION OF PIPE CONCRETE COLUMNS OF KINEMATIC SYSTEMS OF SEISMIC PROTECTION OF CIVIL BUILDINGS FRAMES

Andronov¹ A.V., Semenov² S.Yu., Shalenny¹ V.T.

¹Crimean Federal University. IN AND. Vernadsky, Academy of Civil Engineering and Architecture
295943, Simferopol, st. Kievskaya, 181,

²Sochinsk State University, Faculty of Environmental Engineering
354000, Krasnodar Territory, Sochi, st. Polytechnic, 7

e-mail: ¹andronovav58@mail.ru, ²smu5sochi@mail.ru, ¹v_shalennyj@mail.ru

Summary. Seismic isolation systems of kinematic type, selected as promising ones, first proposed in the former Soviet Union by Professor Yu.D. Cherepinsky, are considered. This technology was further developed in the works of Professor A.M. Kurzanov, who introduced his developments at the facilities of the Krasnodar Territory of the Russian Federation. However, the analyzed innovative domestic technology is not without its drawbacks.

Subject of research: the design and technology of seismic isolation of overground floors of civil buildings using kinematic systems made of pipe-concrete columns.

Materials and methods: analysis of the state of the art with a description of the positive and negative aspects of the existing technology, substantiation of the ways of possible progressive development of structures and technology of seismic isolation systems of the kinematic type, increasing the reliability of their operation under seismic load. Creation of graphic models of the nodes of support of concrete columns, implementing the intended directions in specific design solutions and technology for their implementation.

Results. Patented designs of joints for pivotal support of pipe-concrete columns of kinematic systems for seismic isolation of frames of civil objects and a technological scheme for their alignment and high-precision installation.

Conclusions: New design solutions have been proposed for the joints of the hinged support of pipe-concrete columns of kinematic systems of seismic isolation, as well as an improved technology for their installation, implying an increase in the reliability of their long-term operation in areas of high seismic activity.

Key words: kinematic seismic isolation systems, high-precision assembly technology.

МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ЯВЛЕНИЙ АЭРОУПРУГОСТИ

Чемодуров¹ В.Т., Кузьменко² О.А., Хитрук³ С.А.

Академии строительства и архитектуры (структурное подразделение) ФГАОУ ВО КФУ им. В.И. Вернадского, г.

Симферополь, ул. Киевская, 181, Россия

e-mail: e-mail: ¹chens_mu1@mail.ru, ²olya.kuzy@mail.ru, ³sergej.xitruk97@mail.ru

Аннотация. Материал, включенный в статью, является обобщением опыта работы авторов в области постановки и проведению модельных испытаний строительных конструкций. Составной частью эксперимента являются теории физического моделирования, которая дает правильный подход к постановке и проведению опытов.

Создание строительных сооружений различного класса и назначения основано на обширных предварительных исследованиях, среди которых, наряду с вычислительной работой, важную роль играет испытания моделей отдельных элементов конструкции. В статье, опираясь на теорию физического моделирования, дается ответ на два вопроса:

- как создать модель, подобрать реальному объекту (висячего мота);

- как пересчитать результаты эксперимента на изучаемый объект.

Предмет исследования: Исследование проведено в области аэроупругости сооружений. Рассматривается проблема учета изгибно-крутильных колебаний моделей пролетов висячих мостов при определении возникновения в них внутренних усилий, которые влияют на прочность и устойчивость конструкции.

Материалы и методы: в работе используются теоремы и методы физического моделирования механических явлений.

Результаты: Результатом исследования является разработанная методика постановки и проведения испытаний физической модели пролета висячего моста

Выводы: Представленная методика разработана впервые и может служить инструментом для проведения проектных расчетов сооружений данного класса.

Ключевые слова: физическая (механическая) модель, критерий подобия, теория размерностей, механическое подобие, масштабный эффект, безразмерные комплексы физических величин.

ВВЕДЕНИЕ

При чисто теоретических исследованиях механических явлений обычно исследуются различного вида функциональные уравнения – обычно дифференциальные. Эти уравнения служат для установления общих качественных свойств движения и для фактического вычисления искомых функциональных связей с помощью различных математических операций. Однако механическое исследование не всегда возможно осуществить путем математических рассуждений и обсуждений. Очень часто мы не имеем вообще математической постановки задачи, так как исследуемое механическое явление настолько сложно, что для него пока еще нет удовлетворительной схемы и нет еще уравнений движения. С таким положением часто встречаются при решении многих важных задач в области аэромеханики, при изучении прочности и деформации различных конструкций и тому подобное. В этих случаях главную роль играют экспериментальные методы исследования, которые дают возможность установить простейшие опытные факты, на основе которых можно формировать законы, управляющие исследуемым явлением и записать их в виде некоторых математических соотношений.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Со времен Галилея (то есть с 17-го века) необходимым базисом научной теории и применения ее на практике становится эксперимент. Он стал существенным фактором науки в ее современном виде и занимает центральное место. Важность данного метода исследования заключена в его преимуществах:

– при эксперименте мы намерено заставляем происходить то или другое, и заставляем происходить так, чтобы наблюдение делалось удобным; мы устраняем то или другое из окружающих обстоятельств, наблюдаем изменения, которые являются при этом устранении, и делаем свои заключения (словом, активно воздействуем на предмет);

–эксперимент позволяет исследовать свойства объектов, функционирующих в экстремальных условиях, что может привести к обнаружению самых неожиданных и удивительных свойств у обыкновенных вещей и тем самым позволяет глубоко проникнуть в их сущность;

–эксперимент может быть проведен, как правило, столько раз, сколько нужно для получения достоверных данных.

Таким образом, под экспериментом можно понимать совокупность действий, к которым приходится обращаться, чтобы задавать природе интересующие нас вопросы. Не каждый эксперимент, и в особенности в области военно–

научного исследования, можно поставить на натурном объекте. Но любой эксперимент — исследовательский, проверочный или иллюстративный — может быть осуществлен на «заменителе» данной натуры — модели. Важнейшим достоинством экспериментирования с моделью является возможность изучения ее в более широком диапазоне условий, чем это допускает непосредственное оперирование с оригиналом.

Модели бывают разные. Моделей бывает много. Чтобы выбрать одну из них, надо понять, что мы хотим от модели, какие требования мы к ней предъявляем. Согласно определению В. А. Штоффа «под моделью понимается такая мысленно представляемая или материально реализованная система, которая, отображая или воспроизводя объект исследования, способна заменить его так, что ее изучение дает нам новую информацию об этом объекте». Таким образом, если модель достаточно точно описывает объект, то ее эксперимент на объекте может быть заменен экспериментом на модели. Из всего существующего многообразия моделей в дальнейшем остановимся на:

- физических моделях, которые сходны с оригиналом по физической природе и геометрической форме;

- математических моделях, которые конструируются из элементов иной физической природы, по сравнению с оригиналом, но описываются той же системой математических зависимостей, что и оригинал.

Физическое и математическое моделирование широко применяется в научных исследованиях. Это объясняется тем, что натурные эксперименты на реальных строительных объектах зачастую невозможно организовать по различным соображениям (экономическим, временным, безопасности и так далее).

При разработке модели исследуемого явления, несомненным является вопрос о достоверности (истинности) построенной модели и полученных результатов эксперимента.

Истинной называется знание, соответствующее объективной действительности. Видимо определение истинности модели не должно отличаться от общего и традиционного определения истинности в материалистической гносеологии. То есть истинность модели означает соответствие модели объекту, а ложность модели состоит не просто в соответствии с оригиналом, а в наличии конкретной формы этого соответствия, которая предусматривается природой, типом моделей и целям применения модели в каждом отдельном случае.

Для моделей, обладающих с натурой одной и той же физической природой, условия их соответствия с оригиналом разработаны в теории подобия. К числу таких условий относится необходимость сохранения геометрического, кинематического, динамического теплового и других элементов

подобия, учитываемых в каждом конкретном случае.

Условия сходства модели и объекта в математическом моделировании, основанном на физических аналогиях, предполагающих при различии физической природы процессов в модели и объекте тождество математической формы, в которой выражаются их общие закономерности, являются более общими.

Необходимо при этом иметь в виду, что при построении тех или иных моделей всегда сознательно отвлекаются от некоторых сторон, свойств и даже отношений, в силу чего заведомо допускается не сохранение сходства между моделью и оригиналом по ряду параметров, которые вообще не входят в формулирование условий сходства. Исходя из этого, можно сказать, что истинная модель — это такая модель, структура которой в рамках выбранных нами условий соответствия тождественна, совпадает со структурой оригинала, взятой в отвлечении от других свойств отношений и элементов. Следовательно, модель, в которой отсутствует тождество, совпадение ее структуры со структурой оригинала, будет ложной моделью.

Приведем пример. В задачах исследования несущей способности мостовых конструкций сходство между моделью и оригиналом должно заключаться в тождестве нагрузок, полей внутренних усилий и деформаций в сходственные моменты времени. Для данных условий соответствия достаточно модель мостовой конструкции в виде ее кинематической схемы, сохраняя при этом пропорциональность внешних сил, действующих на оригинал и модель. В такой постановке наша модель отражает истину. Если мы хотим рассмотреть вопросы крепления элементов моста, то выше приведенная модель окажется ложью, так как сама кинематическая схема является лишь условным представлением элементов крепления. Таким образом, любая модель является истиной лишь в рамках выбираемых условий соответствия, то есть истиной относительной. Создание абсолютно истинной модели означало бы осуществление в модели полного соответствия с оригиналом, то есть построение второго экземпляра этого объекта.

Модель является выражением относительной истины потому, что:

- каждая модель является временной, преходящей, отражающей лишь исторически определенной ступени проникновения познания в объективную структуру и закономерности функционирования объекта;

- каждая модель неизбежно является односторонней, частичной в силу тех отвлечений и упрощений, которые при ее помощи реализуются;

- многие модели относятся к объекту на основе аналогии, предполагающей различие в «физической» природе элементов модели и объекта;

- в некоторых моделях допускается элемент отхода от действительности, элементы научной

фантазии, а, следовательно, некоторые элементы фиктивности.

Невозможность построения абсолютно истинной модели и необходимость ограничиваться всегда лишь относительно истинными моделями не означает, что в моделях не могут содержаться зерна абсолютной истины. Динамическое единство абсолютного и относительного в модели обнаруживается достаточно ясно, если взглянуть на процесс развития моделей, их выдвижения, изучения, экспериментальной проверки, последующего уточнения или изменения и, наконец, смены одной модели другой.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассмотрим колебание плоской пластины в потоке воздуха. В данном случае имеем взаимодействие следующих сил: аэродинамических, упругих и инерционных. Изучение колебательного движения пластины сводится к исследованию задачи о динамической устойчивости конструкции. Потеря динамической устойчивости конструкции происходит по схеме: при некотором случайном отклонении пластины от состояния равновесия появляются колебания, которые поддерживаются энергией потока воздуха, и могут возрасти вплоть до разрушения конструкции.

Составной частью эксперимента является теория физического моделирования, которая дает правильный подход:

- к постановке опыта;
- к обработке опытных данных;
- к распространению полученных результатов на другие объекты, недоступные эксперименту.

Создание строительных сооружений различного класса и назначения основано на обширных предварительных исследованиях, среди которых, наряду с вычислительной работой, важную роль играют испытания моделей отдельных элементов конструкции или даже системы в целом.

При этом возникают два вопроса:

- как создать модель, подобную изучаемому объекту;
- как пересчитать результаты эксперимента на изучаемый объект?

Ответ на эти вопросы дает теория подобия и размерностей. Она необходима для грамотной постановки опыта и анализа полученных данных.

Подобие физических явлений можно представить как обобщение геометрического подобия. Два явления, подчиненных одним и тем же физическим законам, называются физически подобными, если характеризующие их однородные физические величины находятся в одинаковом отношении в любых сходственных точках пространства и в любые сходственные моменты времени. Эти отношения называются переходными масштабами. Однородными называются величины, имеющие одинаковый физический смысл,

одинаковую размерность. (Например, координаты и линейные размеры или все скорости). Таким образом, при физическом подобии все величины, характеризующие один процесс $(\alpha_1, \beta_1, \dots, \omega_1)$, могут быть получены путем умножения величин, характеризующих другой процесс $(\alpha_2, \beta_2, \dots, \omega_2)$, на постоянные числа (переходные масштабы m), которые для всех однородных величины одинаковы:

$$\alpha_2 = m_\alpha \alpha_1, \beta_2 = m_\beta \beta_1, \dots, \omega_2 = m_\omega \omega_1. \quad (1)$$

Здесь индекс при m указывает, к какой величине масштаб относится.

Однородные физические величины, связанные с исследуемым процессом, делятся на две группы:

- определяющие (процесс) физические величины;
- определяемые (в результате эксперимента) физические величины.

Первые состоят из величин, входящих в условия однозначности, и независимых переменных (координат, времени), все остальные являются определяемыми величинами.

Условия однозначности – наперед заданные условия, которые однозначно определяют протекание изучаемого процесса. Условия однозначности задают:

- геометрическую форму и размеры пространства, где протекает процесс;
- физические свойства сред, участвующих в процессе, то есть численные значения физических параметров, существенных для изучаемого явления;
- полную характеристику процесса в начальный момент времени;
- условия протекания процесса на его границах (граничные условия).

Физическое подобие может иметь различные виды в зависимости от того, между какими явлениями оно устанавливается.

Кинематическое подобие – подобие в полях скоростей и ускорений твердых тел.

Инерциальное (массовое) подобие – подобие в распределении масс.

Динамическое подобие – подобие сил, вызывающих подобные движения.

Тепловое подобие – подобие температур и тепловых потоков.

Системы, которые одновременно имеют кинематическое, массовое и динамическое подобие, являются механически подобными.

Пусть пластина длиной L_x и поперечным размером L_z имеет жесткое крепление на ее концах. Исследуем ее изгибно-крутильные колебания. При симметрии поперечного размера пластины ось центров масс совпадает с ее осью жесткости, а центр давления потока воздуха располагается примерно на одной четвертой поперечного размера (рисунок 1) Введем следующие обозначения физических величин, характеризующих колебательный процесс

пластины в потоке воздуха: l – характерный размер; ρ – плотность материала пластины; v – скорость набегающего потока воздуха; m_0 – погонная масса пластины; EJ , GJ_p – изгибная жесткость и жесткость пластины на кручение; y , θ – прогиб и угол поворота сечения пластины.

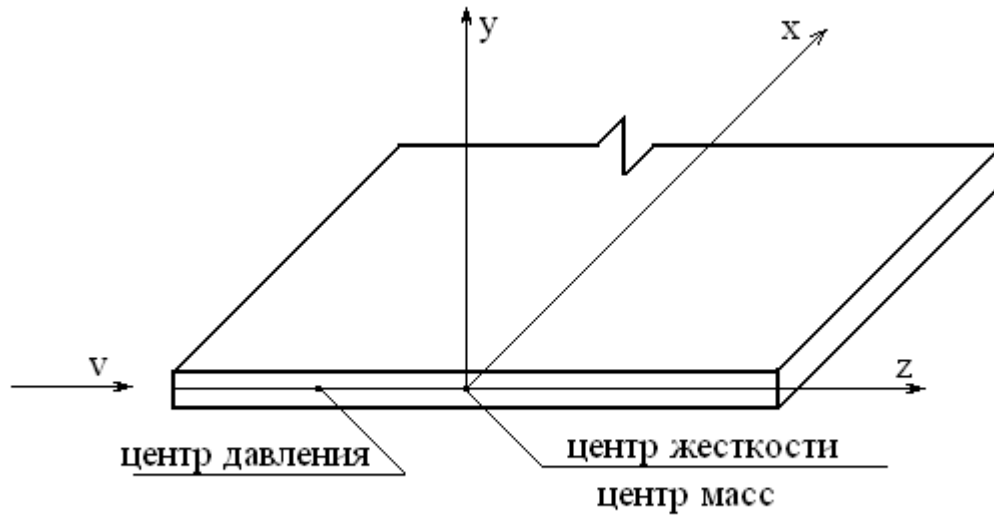


Рис. 1. Схема обтекания пластины потоком воздуха
 Fig. 1. Scheme of air flow around the plate

Внешняя нагрузка включает в себя:

–подъемная сила на единицу длины пластины

$$Y = C_y \frac{\rho_0 v^2}{2} L_z; \quad (2)$$

–аэродинамический момент на единицу длины пластины

$$M = C_m \frac{\rho_0 v^2}{2} L_z^2. \quad (3)$$

Здесь: ρ_0 – плотность воздуха; C_y , C_m – аэродинамические коэффициенты, которые для плоской пластины имеют теоретические зависимости.

Задача о движении однородной упругой пластины в потоке воздуха сводится к решению уравнений:

$$\left. \begin{aligned} EJ \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + m_0 \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + Y &= 0, \\ GJ_p \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} - J_{m0} \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} + M &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Граничные условия следующие:

$$\left. \begin{aligned} &y = 0, \quad \theta = 0, \\ \text{при } x = 0 \text{ и } x = L: &\frac{\partial y}{\partial x} = 0. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Так как скорость потока воздуха в данном исследовании значительно меньше скорости звука, то его взаимодействие с пластиной ограничим коэффициентом кинематической вязкости ν , турбулентной составляющей пренебрегаем. Определяемыми физическими величинами являются: y – вертикальное перемещение пластины; σ – напряжение в сечении пластины. Таким образом, можно записать следующие соотношения.

$$\left. \begin{aligned} y &= f_1(l, \nu, \rho, \nu, EJ, GJ_p, m_0, J_m, \lambda, t, k), \\ \sigma &= f_2(l, \nu, \rho, \nu, EJ, GJ_p, m_0, J_m, \lambda, t, k). \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

В круглых скобках дается список определяющих физических величин. (Здесь λ – частота изгибных колебаний пластины, J_m – массовый момент инерции, k – показатель адиабаты расширения воздуха).

Установление законов подобия тесно связано с анализом размерностей физических величин, характеризующих данное явление.

Величины, численное значение которых зависит от принятой системы единиц измерения, называются размерными величинами. Величины, численное значение которых не зависит от принятой системы единиц измерения, называются безразмерными величинами. Длина, время, сила, энергия, момент силы и так далее могут служить примерами размерных величин. Углы, отношение двух длин, отношение квадрата длины к площади, отношение энергии к моменту силы и тому подобное — примеры безразмерных величин.

Различные физические величины связаны между собой определенными соотношениями. Поэтому, если некоторые из этих величин принять за основные и установить для них какие-то единицы измерения, то единицы измерения всех остальных величин будут определенным образом выражаться через единицы измерения основных величин. Принятые для основных величин единицы измерения будем называть основными, а все остальные — производными.

На практике, при изучении механических явлений достаточно установить единицы измерения для трех величин. Так в физических исследованиях и в технике удобно за основные единицы взять единицы длины l , времени t и массы m . Для исследуемой конструкции удобно взять за основные единицы измерения следующие: l – характерный линейный размер, v – скорость набегающего потока воздуха, ρ – плотность материала пластины.

Как только установлены основные единицы измерения, единицы измерения для других механических величин, например, для силы, жесткости, массы, моментов инерции, частоты собственных колебаний, времени и тому подобное, получаются автоматически из их определения.

Перевод зависимостей (6) к безразмерным комплексам осуществляется на основании применения первой теоремы теории подобия, которая выражается следующим образом: **у подобных явлений критерии подобия численно одинаковы**. При этом: критерии подобия – это безразмерные степенные комплексы, составленные из величин, характеризующих процесс.

Вторая теорема теории подобия устанавливает правила перехода от физических величин к безразмерным комплексам: **во всяком физическом явлении можно найти связи не только между именованными величинами, характеризующими данное явление, но и между некоторыми комбинациями, то есть между критериями подобия**.

Не останавливаясь на подробной технологии вывода правил перехода от физических величин к безразмерным комплексам, приведем пример для любой физической величины, взятой из рассматриваемой задачи, например погонной массы m_0 .

$$P_{m0} = \frac{m_0}{l^a v^b \rho^c} \quad (7)$$

Приравнявая размерности числителя и знаменателя, определяют неизвестные коэффициенты (показатели степеней физических величин знаменателя). Таким образом, получим

$$P_{m0} = \frac{m_0}{l^2 \rho}.$$

По аналогии с помощью π -теоремы можно составить восемь безразмерных комбинаций (критериев подобия), приняв l, v, ρ за физические величины с независимой размерностью. Будем иметь:

$$\left. \begin{aligned} \frac{y}{l} &= \varphi_1 \left(Re, Ca, \frac{GJ_p}{Ej}, \frac{m_0}{l^2 \rho}, \frac{J_{m0}}{j^4 \rho}, \frac{\lambda l}{v}, St, k \right), \\ \frac{\sigma}{v^2 \rho} &= \varphi_2 \left(Re, Ca, \frac{GJ_p}{Ej}, \frac{m_0}{l^2 \rho}, \frac{J_{m0}}{j^4 \rho}, \frac{\lambda l}{v}, St, k \right) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Уравнение (8) называется **критериальным**, так как устанавливает связь между критериями подобия находим безразмерные комплексы всех физических величин.

В формулы (8) входят следующие критерии: $Re = vl/v$ – число Рейнольдса; $Ca = EL/l^4 v^2 \rho$ – число Коши; $St = vt/l$ – число Струхала.

Все безразмерные комплексы составлены из нескольких основных зафиксированных величин, имеющих в обычной системе независимую размерность. Так как, согласно первой теореме критерии подобия равны, то, следовательно, подобным процессам соответствует одно и то же критериальное уравнение. Таким образом,

подобные процессы описываются одинаковыми критериальными уравнениями. Равенство определяющих критериев есть существенное условие подобия, а равенство остальных критериев есть следствие подобия.

π -теорема дает правило для обработки эксперимента: для того, чтобы результаты данного эксперимента могли быть распространены на все подобные явления, их нужно записать в виде связи между критериями подобия.

Кроме того, при моделировании необходимо обеспечить подобие внешних форм. Это вытекает из требования подобия условий однозначности.

Рассмотрим возможность выполнения условий (8). Здесь $k_n = k_m$ (n – натура, m – модель). Для этого эксперимент необходимо проводить в воздухе. St указывает на выбор сходственных

моментов времени в модели и в натуре. На основании критериев подобия получим масштабы определяющих величин

$$\left. \begin{aligned} m_{Ej} &= m_{Gj_p} = m_\rho m_l^4 m_v^2, & m_{J_{m0}} &= m_\rho m_l^4, \\ m_{m0} &= m_\rho m_l^2, & m_t &= \frac{m_l}{m_v}, & m_\lambda &= \frac{m_v}{m_l}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Таким образом, при изготовлении модели реальной пластины должно быть обеспечено подобие натуре по распределению жесткости, распределению массы и по внешней форме в воздушном потоке.

Если материал модели совпадает с материалом реальной пластины в этом случае масштаб плотности $m_\rho = 1$ и формулы (9) упрощаются.

Если модель выполнена как копия натуре, то может так получиться, что толщина модели окажется очень малой. Для получения приемлемой толщины модели можно использовать для нее материал с более низким модулем упругости.

При продувке модели скорость потока воздуха следует увеличивать постепенно до появления признаков потери упругой деформации. При этом фиксируют значение критической скорости $v_{крм}$. Далее, для натуре получают значения критической скорости потока воздуха:

$$v_{крн} = m_v v_{крм}. \quad (10)$$

Необходимо отметить, что масштабы физических величин с независимой размерностью (m_l , m_v , m_ρ) выбираются по желанию экспериментатора.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В статье представлена методика разработки физической модели колебания пластины в потоке воздуха, которая, в свою очередь, является моделью реального пролета висячего моста. Методика выполнена при строгом изучении и применении законов и теорем механического подобия

Общий анализ сложных физических явлений методами подобия приводит к множеству критериев и многочисленным противоречивым требованиям к модели. В связи с этим число критериев должно быть сведено к минимуму. Для этого можно:

- исключить из рассмотрения физические характеристики, не имеющие существенного значения для изучаемого процесса (это наиболее важно);

- можно ограничить пределы исследования.

На практике удается осуществить подобие лишь с той или иной степенью точности, то есть приближенно. Неточность моделирования возникает:

- из-за погрешностей в задании параметров оригинала и неточности воспроизведения в модели;

- при моделировании по критериям, найденным из упрощенных уравнений;

- из-за масштабного эффекта — несоответствия натурных наблюдений результатам пересчета модельных испытаний, так как при малых размерах модели практически невозможно соблюсти все условия полного подобия.

В общем случае физическое моделирование не ставит своей задачей получение результатов с определенной заданной точностью. Наиболее важно получить качественные зависимости определяемых параметров процесса исследования, которые должны служить опорной базой в дальнейшей проектной работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батрак А.П. – Планирование и организация эксперимента. Красноярск: ИПЦ СФУ, 2007г.
2. Блохин А.В. – Теория эксперимента. Научно-методический центр Электронная книга БГУ, 203г.
3. Бояршинова А.К., Фишер А.С. – Теория инженерного эксперимента. Челябинск, изд-во ЮУрГУ, 2006г.
4. Лавров В.В., Спирин Н.А. – Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента. Екатеринбург, ГОУ ВПО УГТУ.-УПИ, 2004г.
5. Санников Р.Х. – Теория подобия и моделирования. Уфа, УГНТУ, 2010г.
6. Чемодуров В.Т., Жига В.В. – Методы теории планирования эксперимента в решении технических задач. Симферополь, Изд «АРИАЛ», 2012г, 98-100с.
7. Чемодуров В.Т., Литвинова Э.В. – Моделирование систем. Симферополь, Изд «АРИАЛ», 2016г, 230с.
8. Штофф В.А. – Современные проблемы методологии научного познания. М., «Знание», 1975г.

REFERENCES

1. Batrak A. P. - planning and organization of experiments. Krasnoyarsk: SFU CPI, 2007.
2. Blokhin, A. V. – the theory of the experiment. Scientific and methodological center E-book of BSU, 203.
3. Boyarshinova A. K., Fischer A. S.-Theory of engineering experiment. Chelyabinsk, SUSU publishing house, 2006.
4. Lavrov V. V., Spirin N. A.-Methods of planning and processing the results of an engineering

experiment. Ekaterinburg, GOU VPO UGTU.- UPI, 2004.

5. Sannikov R. H.-theory of similarity and modeling. Ufa, UGNTU, 2010.

6. Chemodurov V.T., Zhigna V.V. 2012. Methods of the theory of experiment planning in solving

technical problems: monograph. - Simferopol, -98-100 p.

7. Chemodurov V.T., Litvinova E.V. 2016. System modeling: monograph. - Simferopol: IT "ARIAL", 230 p.

8. Shtoff V. A.-Modern problems of methodology of scientific knowledge. M., "Knowledge", 1975.

A METHOD FOR SIMULATING PHENOMENA OF AEROELASTICITY

Chemodurov¹ V.T., Kuzmenko² O.A., Khitruk³ S.A

Academy of Civil Engineering and Architecture (structural unit) KFU named after V.I. Vernadsky, Simferopol, st. Kievskaya, 181, Russia

e-mail: ¹chens_mu1@mail.ru, ²olya.kuzy@mail.ru, ³sergej.xitruk97@mail.ru

Summary. The material included in the article is a generalization of the authors' experience in the field of setting and conducting model tests of building structures. An integral part of the experiment is the theory of physical modeling, which gives the correct approach to the formulation and conduct of experiments.

The creation of construction structures of various classes and purposes is based on extensive preliminary research, among which, along with computational work, an important role is played by testing models of individual structural elements. In the article, based on the theory of physical modeling, the answer to two questions is given:

- how to create a model, choose a real object (hanging mota);

- how to recalculate the results of the experiment on the object under study.

Key words: Physical (mechanical) model, similarity criterion, dimension theory, mechanical similarity, scale effect, dimensionless complexes of physical quantities.

Раздел 3. Инженерное обеспечение

УДК 621.311 DOI: 10.37279/2413-1873-2021-20-31-41

АНАЛИЗ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В КРЫМУ

Бекиров Э.А., Воскресенская С.Н., Потенко В.В.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И.Вернадского»
Физико-технический институт
Республика Крым, г.Симферополь, проспект Академика Вернадского, 4
Bekirov.e.a@cfuv.ru

Аннотация. В статье приведены данные по генерации и потреблению электроэнергии ветровой электростанции. Для поддержания работоспособности ветровой электростанции она подключена в общую сеть энергосистемы не только для выдачи генерируемой электроэнергии, но и для потребления необходимой электроэнергии для начала работы ветроустановок. Оценена выработка электроэнергии, окупаемость и чистая прибыль ветроэлектростанции из 12 ветроустановок.

Предмет исследования. Ветроэнергетические установки и их эффективность.

Материалы и методы. Теоретической и методологической основой являются труды отечественных и зарубежных ученых в области ветроэнергетики. В работе использовались аналитические методы исследований, включающие прогнозный расчет годовой энерговыработки ветроустановок.

Выводы. Нестабильность выработки электроэнергии с использованием энергоагрегатов возобновляемых источников энергии является серьезной проблемой, влияющей на себестоимость получаемой энергии. Согласно полученным расчетам через 14 лет при условии цены на электроэнергию равной 1,8 рублей электростанция окупит вложения и начнет приносить чистый доход.

Определен коэффициент корреляции, который составил 0,94.

Ключевые слова. Ветроэлектростанция, ветроустановка, энергоэффективность, генерация электроэнергии, выручка.

ВВЕДЕНИЕ

Использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) сдерживается недостатками, присущими каждому из них, а именно: нестабильностью ветра для ветроэнергетических установок (ВЭУ); наличием солнечной радиации для солнечных батарей (СБ) солнечных электростанций (СЭС) являющихся основными генерирующими станциями электроэнергии в настоящее время. Основной недостаток абсолютного большинства ВИЭ – это непостоянство и часто плохо прогнозируемый характер выдаваемой мощности, который преодолевается затратными мерами по аккумулированию электроэнергии или резервированию энергетическими установками традиционной генерации. Для ВЭУ работа зависит от скорости ветра. Влияние нестабильности выработки снижается путем их подключения к разветвленным магистральным электрическим сетям.

Падение выработки из-за слабого ветра на ветроэлектростанциях (ВЭС), расположенных в одном районе, компенсируется выработкой электроэнергии на ВЭС в другом районе, где ослабление ветра не наблюдается. Однако, при этом требуется некоторое резервирование мощности энергоустановки, растут расходы на поддержание сетевой инфраструктуры и возникают неизбежные потери.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В перспективных планах развития электроэнергетики согласно «дорожной карте» Национальной технологической инициативы «Энерджинет» предусмотрен переход на интеллектуальные активно-адаптивные сети «SmartGrid», предполагающие увеличение масштабов использования ВИЭ и, в частности, ветро- и фотоэнергетики [1, 2]. До 2020 года включительно в России планируется ввод более пятидесяти СЭС, суммарной установленной мощностью 1520 МВт [3, 4] и 21 ВЭС, установленной мощностью 2261 МВт до 2022 года [4, 5]. По критериям экологической чистоты и экологической безопасности в возобновляемой энергетике лидерами являются ветровая и солнечная [6]. Причем разрабатываются и гибридные установки [7].

Ветроэнергетика является перспективной отраслью, имеющей свои особенности и характеристики для отдельных регионов и площадок [8-12].

Генерация электрической энергии в Крыму за 2019 год составила 99 017 849 кВтч, мощность крымских ВЭС составляет 89 МВт. Увеличения энергетического потенциала в Крыму можно добиться не только строительством и вводом новых ВЭС, но и модернизацией существующих. Например, установленная номинальная мощность Пресноводненской ВЭС составляет 7,39 МВт, при работающих там ветроустановках USW56-100, а

при замене их на более мощные 2 МВт ВЭУ установленная номинальная мощность возрастает до 25 МВт.

Перспективы развития ветроэнергетики на территории автономии обусловлены в первую очередь благоприятными географическими условиями, а именно:

- наличием стабильных ветрообразующих факторов;
- наличием территорий, малопригодных или непригодных для земледелия;
- наличием территорий вне природоохранных зон;
- рельефом местности, что позволяет осуществлять доставку на площадки строительства ВЭС крупногабаритные компоненты ВЭУ и размещать ВЭУ без потерь электроэнергии от затенения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Используются аналитические и расчетные методы для оценки энергоэффективности ветроэлектростанций в Крыму.

Практически вся территория Республики Крым характеризуется ветрами, достаточными для энергообеспечения потребителей средствами ветроэнергетики. При этом среднегодовая скорость ветра на большинстве территории составляет 5 м/с. Ветер характеризуется небольшой турбулентностью. Доминируют следующие направления: летом - бриз и юго-западные ветры, зимой - северо-восточные ветры.

Основная часть автономии имеет холмисто-равнинную территорию, исключение составляет южный берег, отсечённый Крымскими горами. За пределами этих гор рельеф Крымского полуострова является благоприятным для строительства ВЭС на базе ВЭУ любых габаритов. В горной местности в ряде мест имеется сеть дорог, обеспечивающая возможность транспортировки ВЭУ с относительно небольшими габаритными параметрами.

Ветровая картина на территории Республики Крым определяется следующими факторами:

- северо-восточными ветрами, образующимися в результате движения воздуха из зоны высокого и низкого давления над Черным морем; это холодные и сухие ветры, которые веют, как правило, зимой и весной;
- юго-западными ветрами, которые приходят из Средиземного моря и веют также преимущественно зимой и весной;
- западными ветрами, которые веют из Атлантического океана, главным образом летом;
- локальными ветрами – бризом, которые веют летом и осенью. Днем с моря на сушу веет морской бриз, а ночью с суши на море - береговой бриз. Скорость таких ветров может достигать 9 м/с и выше. Морской бриз распространяется в глубину полуострова на 20-30 км.

Данные долгосрочных метеорологических наблюдений подтверждают, что все перечисленные

ветрообразующие факторы являются стабильными, это является позитивным критерием для строительства ВЭС.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Регулирование ценовой политики.

Государственное регулирование цен (тарифов), надбавок осуществляется в порядке, установленном основами ценообразования в области регулируемых цен (тарифов) в электроэнергетике и правилами государственного регулирования (пересмотра, применения) цен (тарифов) в электроэнергетике, утвержденными Правительством Российской Федерации.

Государственному регулированию в электроэнергетике подлежат цены (тарифы) на электрическую энергию (мощность) и на услуги, оказываемые на оптовом и розничных рынках, в соответствии с настоящим Федеральным законом.

Правилами оптового рынка регулируются отношения, связанные с оборотом электрической энергии и мощности на оптовом рынке.

В состав субъектов оптового рынка входят участники обращения электрической энергии и (или) мощности - поставщики электрической энергии (генерирующие компании) и покупатели электрической энергии (энергосбытовые организации, крупные потребители электрической энергии, гарантирующие поставщики), получившие статус субъектов оптового рынка в порядке, установленном Федеральным законом.

На оптовом рынке действует организованная система договоров между субъектами оптового рынка, определяющая основные условия деятельности соответствующих субъектов на оптовом рынке, условия продажи электрической энергии и мощности, оказания услуг. Перечень, система и порядок заключения обязательных для участников оптового рынка договоров определяются правилами оптового рынка.

Цены покупки и продажи, стоимость электрической энергии и мощности формируются организациями коммерческой инфраструктуры оптового рынка исходя из данных, которыми они располагают на момент формирования таких цен (таблица 1).

На рисунке 1 приведен график изменения средневзвешенной нерегулируемой цены за период 2019-2020 гг.

На основе данного графика можно сделать вывод, что оптовый рынок имеет «плавающую» динамику. Для каждой генерирующей компании на исключительных договорных условиях рассчитывается тариф.

Анализ стоимости электроэнергии. Основным законом в электроэнергетике является Федеральный закон от 26.03.2003 N 35-ФЗ (ред. от 27.12.2019) "Об электроэнергетике". Согласно данному закону цены покупки и продажи, стоимость электрической энергии и мощности формируются организациями коммерческой

инфраструктуры оптового рынка исходя из данных, которыми они располагают на момент формирования таких цен.

Таблица 1. Цена электрической энергии за период 2019-2020 гг.

Table 1. Electricity price for the period 2019-2020

Период	Средневзвешенная нерегулируемая цена на электрическую энергию на оптовом рынке, определяемая по результатам конкурентного отбора ценовых заявок на сутки вперед и конкурентного отбора заявок для балансирования системы, руб/МВтч
апр.19	1465,28
май.19	1417,51
июн.19	1447,00
июл.19	1465,95
авг.19	1585,32
сен.19	1467,75
окт.19	1394,35
ноя.19	1419,34
дек.19	1599,52
январ.20	1575,18
фев.20	1594,94
мар.20	1454,89
апр.20	1312,62
май.20	1038,38
июн.20	1190,72

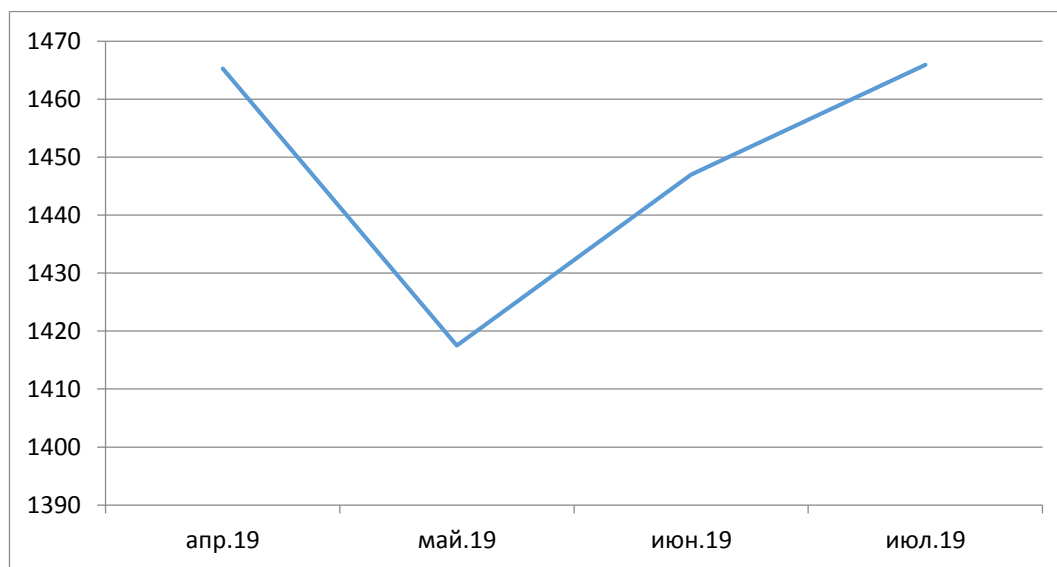


Рис. 1. Средневзвешенная нерегулируемая цена на электрическую энергию на оптовом рынке ГУП РК "Крымэнерго", руб/МВтч

Fig. 1. Weighted average unregulated price of electricity in the wholesale market of the State Unitary Enterprise of the Republic of Crimea "Crimeaenergo", RUB / MWh

Государственное регулирование цен (тарифов), надбавок осуществляется в порядке, установленном основами ценообразования в области регулируемых цен (тарифов) в электроэнергетике и правилами государственного регулирования (пересмотра, применения) цен (тарифов) в электроэнергетике,

утвержденными Правительством Российской Федерации.

Для поддержания работоспособности ветровой электростанции необходимо подключение в общую сеть энергетической системы не только для выдачи генерируемой электроэнергии, но и для

потребления необходимой электроэнергии для начала работы ветроустановок. Среднее потребление ветроустановки типа USW56-100 70 Вт, а для ветроустановок типа AN BONUS 300 Вт в режиме ожидания.

Вопрос цены потребления электроэнергии встает особо остро в период затишья ветров, что

ведет к увеличению потребления и тем самым к увеличению расходов на содержание электростанции [13].

В таблице 2 приведены данные по генерации и потреблению Пресноводненской ветровой электростанции.

Таблица 2. Генерация и потребление Пресноводненской ВЭС
Table 2. Generation and consumption of the Presnovodnenskaya wind farm

Период	Активная прием, энергия кВтч	Активная отдача, энергия кВтч
сен.2019	124257	3788
окт.2019	103064	5002
ноя.2019	136477	2246
дек.2019	145084	3026
янв.2020	136990	3589
фев.2020	155985	3927
мар.2020	157218	3004
апр.2020	154896	3604
май.2020	193518	3344
июн.2020	116571	6279
июл.2020	138167	6343
авг.2020	148878	4541
Итого	1711105	48693

На рисунках 2 и 3 приведены графики генерации электроэнергии в общую сеть и потребления электроэнергии из сети для работы ВЭУ в составе ВЭС.

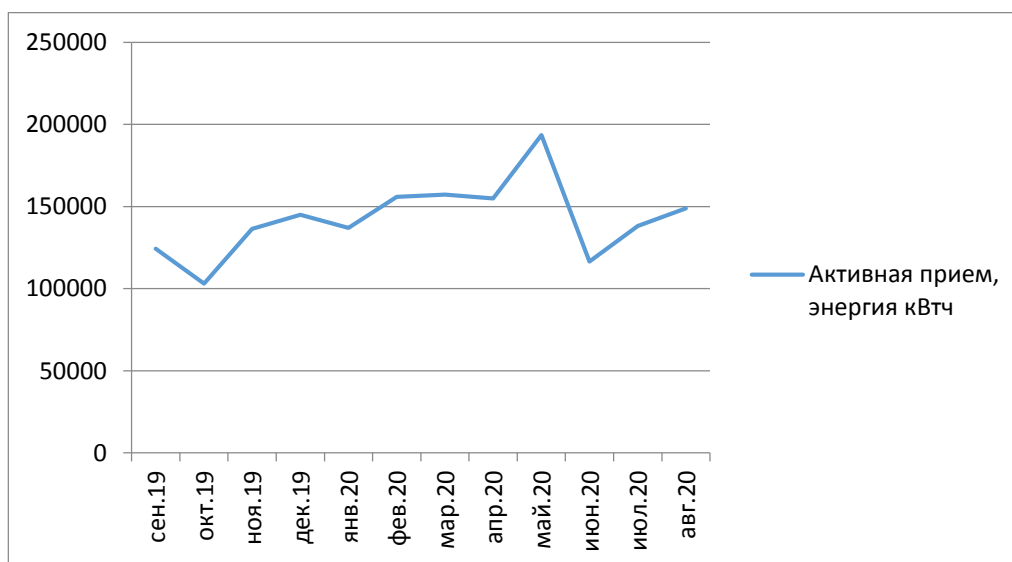


Рис.2. Генерация электроэнергии Пресноводненской ВЭС в общую сеть энергосистемы в течение года
Fig. 2. Electricity generation by the Presnovodnenskaya WPP to the general grid of the power system during the year

Проанализировав графики, можно сделать выводы, что сезон ветров для данной ветровой электростанции с августа по апрель.

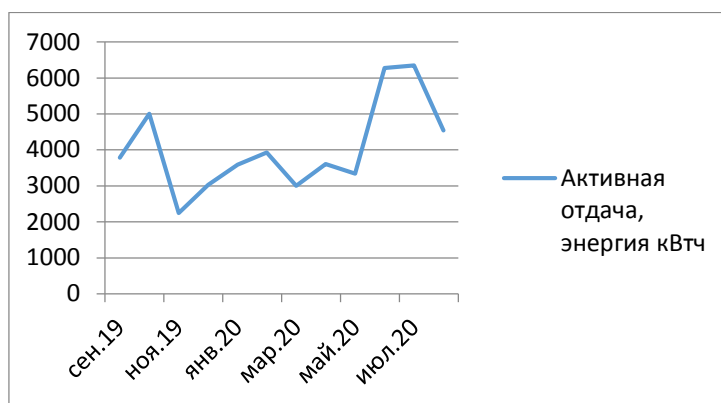


Рис.3. Потребление электроэнергии из сети на Пресноводненской ВЭС для работы ВЭУ в течение года
Fig. 3. Electricity consumption from the grid at the Presnovodnenskaya wind farm for the operation of wind turbines during the year

Таблица 3. Средневзвешенная цена на территории Республики Крым

Table 3. Weighted average price in the territory of the Republic of Crimea

Период	Средневзвешенная цена 1 кВт*ч, руб.
сен.19	3,07
окт.19	3,47
ноя.19	3,33
дек.19	3,39
январ.20	3,32
февр.20	3,52
мар.20	3,65
апр.20	3,29
май.20	3,48
июн.20	3,49
июл.20	3,92

Но так же стоит учитывать нестабильность ветров, а именно то, что привычный месяц считается устойчивым для генерации, а в другом периоде может стать «провальным» по генерации, что в свою очередь повлечет увеличение потребления.

Цена электроэнергии варьируется каждый месяц и складывается из многих составляющих таких как,

ценовая зона, уровень напряжения, пиковые и полупиковые часы и другие. В таблице 2 представлены цены для юридических лиц Республики Крым.

Согласно данным, приведенным в таблице 3, построен график средневзвешенной цены в течение года (рис.4).

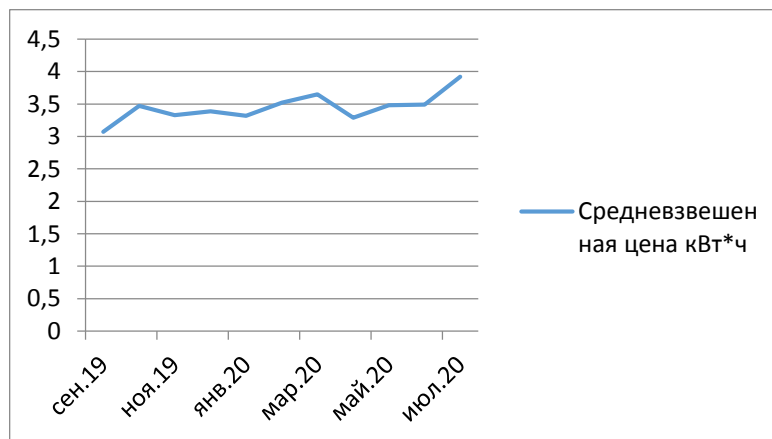


Рис. 4. Средневзвешенная цена в течение года

Fig. 4. Weighted average price during the year

Так как, Пресноводненская ветровая электростанция входит в состав ГУП РК «Крымэнерго», то расходы относят к потерям.

Для стабильной работы, автономности от общей энергосистемы и выдачи генерируемой энергии в общую сеть возможно установить солнечные батареи для собственного потребления и выдачи в сеть электроэнергии в период затишья ветров.

В таблице 4 представлены данные по потреблению ветровой электростанцией в период с 8-00 до 17-00 ч, то есть в дневные пиковые часы для ветровой генерации.

Тем самым можно свести потери к нулю и получить генерацию электроэнергии, и поднять доходность электростанции, уменьшив простой оборудования.

Таблица 4. Генерация и потребление в период с 8-00 до 17-00
Table 4. Generation and consumption in the period from 8-00 to 17-00

Период	Активная прием, энергия кВт*ч	Активная отдача, энергия кВт*ч
сен.2019	42639	1273
окт.2019	36650	1673
ноя.2019	54414	1247
дек.2019	51260	1650
январ.2020	46655	1997
фев.2020	60059	2383
мар.2020	58476	1314
апр.2020	57758	1687
май.2020	77206	1284
июн.2020	47562	2602
июл.2020	70476	2224
авг.2020	62535	1300
Итого	665690	20634

Для видения реальной картины соотношения вырабатываемой электроэнергии и выручки, рассмотрим ветроустановку типа AN Bonus,

установленной мощностью 600 кВт, расположенную на участке Пресноводненская ВЭС (таблица 5).

Таблица 5. Выработка электроэнергии и выручка ВЭУ AN BONUS
Table 5. Electricity generation and revenue of wind turbines AN BONUS

Период	Выработка, кВтч	Средняя цена кВтч	Выручка без НДС, тыс.руб.
2015	254 467	3,48	885,55
2016	1 343 087	3,52	4727,67
2017	1 308 345	2,87	3754,95
2018	1 404 274	2,82	3960,05

При техническом переоснащении ВЭС предлагается заменить устаревшие ветротурбины типа USW56-100, установленной мощностью 107,5 кВт на ветроустановки номинальной мощностью 2 МВт. В таблице 6 представлены данные по мощности, а на рисунках 4 и 5 приведены кривые мощностей ВЭУ U88 и AN BONUS.

Проанализировав воздушные потоки, скорость и направление ветра на данной ветроэлектростанции можно сказать, что преобладает северо-восточное направление со средней скоростью ветра 6,7 м/с (таблица 7).

Рядом с Пресноводненской ВЭС расположен ветропарк «Керченский» в котором эксплуатируются ветротурбины номинальной мощностью 2,5 МВт. Данные за 2019 год представлены в таблице 8.

Преимущество расположения Пресноводненской ВЭС заключается в том, что электростанция стоит на возвышенности, ветротурбины располагаются одной грядой, что уменьшает вероятность затенения ветротурбин.

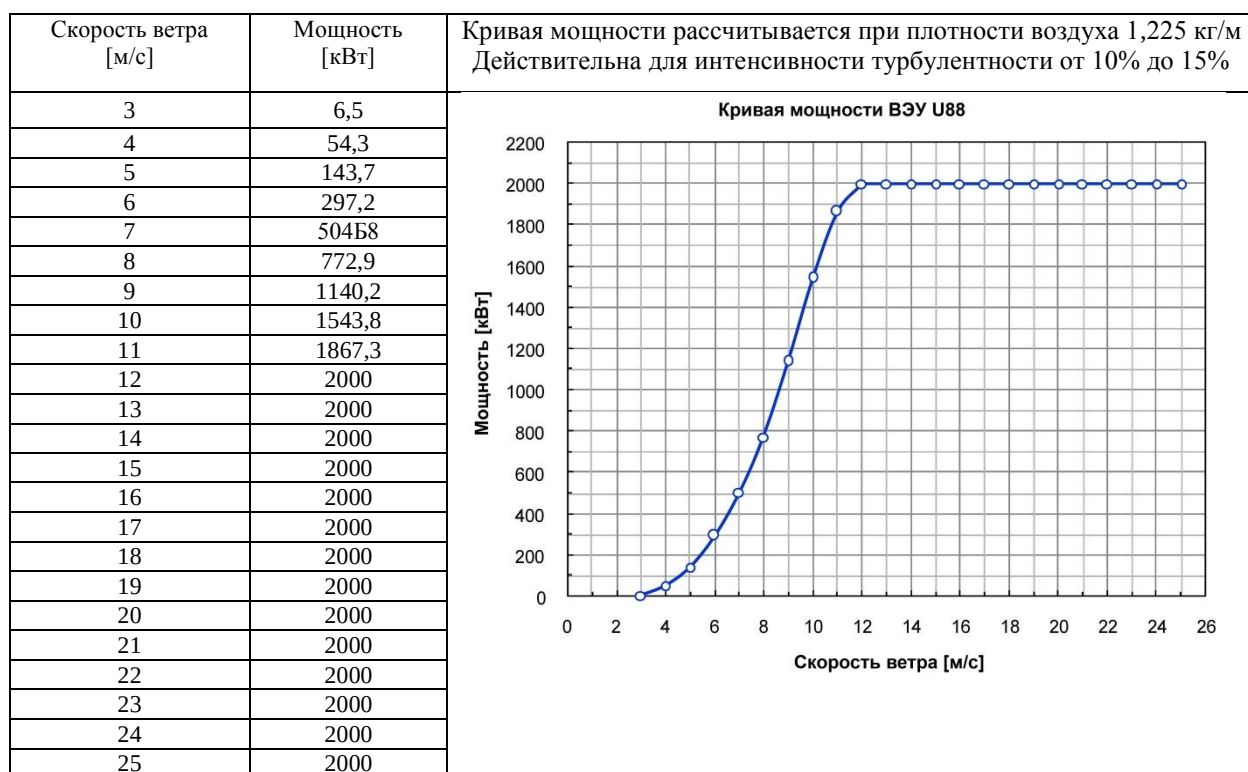


Рис. 4. Технические параметры и кривая мощности ВЭУ U88

Fig. 4. Technical parameters and power curve of wind turbine U88

Таблица 6. Технические параметры ВЭУ BONUS

Table 6. Technical parameters of wind turbines BONUS

Скорость ветра V_i , м/с	Выходная мощность P_i , кВт	Скорость ветра V_i , м/с	Выходная мощность P_i , кВт	Скорость ветра V_i , м/с	Выходная мощность P_i , кВт
3	0,00	11	433,70	19	571,30
4	13,50	12	498,60	20	545,50
5	40,50	13	548,10	21	524,70
6	74,30	14	577,30	22	509,90
7	130,70	15	596,00	23	500,60
8	202,00	16	609,90	24	478,60
9	280,80	17	606,80	25	457,70
10	361,60	18	593,30		



Рис. 5. Кривая мощности BONUS-600kW (данные производителя)

Fig. 5. Power curve BONUS-600kW (manufacturer's data)

Таблица 7. Средняя скорость ветра по месяцам
Table 7. Average wind speed by months

Месяц, 2019 г	Средняя скорость ветра, м/с
Январь	6,8
Февраль	7,3
Март	6,6
Апрель	7
Май	5,4
Июнь	6,7
Июль	4,9
Август	6,8
Сентябрь	7,4
Октябрь	5,5
Ноябрь	8,5
Декабрь	6,9

Взяв для расчета данные метеовышек за каждый час суток и подставив мощности ветротурбины номинальной мощностью 2 МВт получим потенциально возможную генерацию для данной ВЭС (таблица 8). Если проводить замену ветроустановок USW56-100 на QREON, то данные по генерации представлены в таблице 9.

Таблица 8. Генерация электроэнергии ветропарком «Керченский»
Table 8. Electricity generation by the Kerchensky wind farm

Месяц, 2019 г	Генерация, кВтч	Тариф, руб.	Выручка, тыс. руб
Январь	7 892 738	1,8	14206,93
Февраль	7 386 841		13296,31
Март	7 924 147		14263,46
Апрель	5 769 599		10385,28
Май	3 342 510		6016,518
Июнь	5 407 412		9733,342
Июль	2 958 151		5324,672
Август	6 550 484		11790,87
Сентябрь	6 730 524		12114,94
Октябрь	3 828 653		6891,575
Ноябрь	7 290 888		13123,6
Декабрь	6 307 896		11354,21
Итого	71 389 843		128501,7

Таблица 9. Генерация электроэнергии Пресноводненской ВЭС после замены USW56-100 на QREON
Table 9. Electricity generation at the Presnovodnenskaya WPP after replacing USW56-100 with QREON

Период	Генерация, кВт*ч
январь	6 034 620
февраль	5 701 680
март	68 420 160
апрель	5 276 520
май	5 580 000
июнь	5 760 000
июль	1 599 600
август	5 412 972
сентябрь	2 700 000
октябрь	5 165 592
ноябрь	6 642 000
декабрь	10 267 200
Итого, кВтч	128 560 344

В таблице 10 приведены данные расчетов с учетом наименьшей цены за кВтч, равной 1,8 руб, а в таблице 11 с учетом наименьшей цены за кВтч, равной 6,3 руб.

Таблица 10. Экономические расчеты с учетом минимальной цены 1,8 рублей
Table 10. Economic calculations taking into account the minimum price of 1.8 rubles

Параметр	Стоимость, тыс. руб.
Стоимость установки ветротурбин, 12 шт	2 340 000
Расходы на персонал, в год	8 835
Расходы на ГСМ, на ТО	1000
Выручка среднегодовая	231 408
Чистая прибыль	177 258
Срок окупаемости	14 лет

Таблица 11. Данные расчетов с учетом наименьшей цены за кВтч 6,3 рублей
Table 11. Calculation data taking into account the lowest price per kWh 6.3 rubles

Параметр	Стоимость, тыс. руб.
Стоимость установки ветротурбин, 12 шт	2 340 000
Расходы на персонал, в год	8 835
Расходы на ГСМ, на ТО	1000
Выручка среднегодовая	809 930
Чистая прибыль	800 095
Срок окупаемости	3 года

Одним из самых весомых факторов получения таких объемов выручки являются погодные факторы и цена договора на поставку электроэнергии. Цена электроэнергии определяется индивидуально с каждой электростанцией, а так как после техперевооружения станции общая номинальная мощность составит более 25 МВт, то стоимость 1 кВтч будет формироваться на оптовом рынке электроэнергии.

Сильное влияние на возможную генерацию вносят погодные условия, а именно направление ветра, скорость ветра и отсутствие грозного фронта. Это взаимосвязь отражает коэффициент корреляции. Для ветровой электростанции он равен 0,94, что доказывает, насколько сильна взаимосвязь силы ветра и выработки.

Из данных расчетов можно сделать вывод, что через 14 лет, при условии цены на электроэнергию равной 1,8 рубль, электростанция окупит вложения и начнет приносить чистый доход. Если, согласно средней цены для ветровых станций в 2020 году, стоимость 1 кВтч составляет 6,3 руб., то срок окупаемости будет 3 года.

ВЫВОДЫ

Проведен анализ нестабильности выработки ветроустановок. Показано, что использование ветровых энергетических установок является актуальным и эффективным способом генерирования электрической энергии. Рассмотрена возможность замены устаревших малоэффективных моделей ветротурбин при техническом перевооружении на ветроустановки номинальной мощностью 2-2,5 МВт. Проведенные расчеты

показали, что по данным кривой мощности ветротурбины номинальной мощностью 2 МВт, можно получить потенциально возможную генерацию для ветроэлектростанции за год 128,56 ГВтч.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дорофеев В.В., Макаров А.А. Активно-адаптивная сеть – новое качество ЕЭС России // Бесплатная электронная версия журнала «Энергоэксперт». №4. 2009. С. 28-34.
2. Харченко В.В. Микросеть на основе ВИЭ для энергоснабжения сельских территорий / В.В. Харченко, В.Б. Адоновичус, В.А. Гусаров, Д.С. Стребков // International conference “Energy of moldova – 2012”, Chisinau, Republic of Moldova, 2012, pp. 562-567.
3. Антипов В.Н., Грозов А.Д., Иванова А.В. Мировая ветроэнергетика мегаваттного диапазона мощностей // Инноватика и экспертиза. 2019. №2 (27). С. 94-105. DOI: 10.35264/1996-2274-2019-294-105.
4. Кунецов П.Н., Гусева Е.В., Борисов А.А. Современное состояние и направление развития фотоэлектрических энергоустановок // Энергетические установки и технологии. 2018. №3. С.51-57.
5. Шилкина С.В. Экономика развития электроэнергетики на возобновляемых источниках энергии России с учетом мировых тенденций // Вестник гражданских инженеров. 2018. №3 (68). С. 137-146. DOI: 10.23968/1999-5571-2018-15-3-134—146.

6. Шлыков С.В. Ветроэнергетика как перспективное направление современной энергетики // Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии (ПЭЭЭ-2017). V Всероссийская научно-технологическая конференция (к 50 – летнему юбилею кафедры «Электроснабжение и электротехника» Института энергетики и электротехники). – Тольятти: Тольяттинский государственный университет. 2017. – С. 328-334.

7. Чебоксаров В.В. Кузнецов П.Н. Гибридные ветро-солнечные морские энергетические установки // Строительство и техногенная безопасность. №18(70). 2020. С. 67 – 81.

8. Лисицын А.Н., Задорожная Н.М. О перспективах ветроэнергетики в современном мире // Инновационные технологии в науке и образовании: сборник статей IV Международной научно-практической конференции. – Пенза: «Наука и Просвещение». 2017. С.36-42.

9. Есенов И.Х., Шогенов М.М. Ветроэнергетика в горных районах Рсо-Алания // Перспективы развития АПК в современных условиях: Материалы 7 –й Международной научно-практической конференции. – Владикавказ: Горский государственный аграрный университет. 2017. С. 304-310.

10. Захаренко С.О., Ткаченко Г.Н. Ветроэнергетика Тюменской области // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов. Сборник трудов IX Международной научно-технической конференции. – Благовещенск: Амурский государственный университет, 2019. С. 333-338.

11. Гзэнгер Ш., Елистратов В.В., Денисов Р.С. Ветроэнергетика в России: перспективы, возможности и барьеры // Возобновляемая энергетика XXI век: Энергетическая и экономическая эффективность, 2016 Материалы Международного конгресса REENCON-XXI «Возобновляемая энергетика XXI век: Энергетическая и экономическая эффективность». Под ред. Д.О. Дуникова, О.С.Попеля. 2016. С. 216-220.

12. Схема и программа развития электроэнергетики Республики Крым 2019-2023 годы. – Москва: Научно-Технический центр единой энергетической системы, 2018. 210 с.

13. Технический отчет потребителя энергетических ресурсов: НП Экспертиза энергоэффективности, 2016. – 94 с.

REFERENCES

1. Dorofeev V.V., Makarov A.A. Active-adaptive network - a new quality of the UES of Russia // Besplatnaya elektronnaya versiya zhurnala «Energoekspert». №4. 2009 . p. 28-34.

2. Kharchenko V.V. Microgrid based on RES for power supply of rural areas / V.V. Kharchenko, V.B. Adomavicius, V.A. Gusarov, D.S. Strebkov //

International conference “Energy of Moldova - 2012”, Chisinau, Republic of Moldova, 2012, pp. 562-567.

3. Antipov V.N., Grozov A.D., Ivanova A.V. World wind energy in the megawatt range of capacities // Innovatika i ekspertiza. 2019. No. 2 (27). P. 94-105. DOI: 10.35264 / 1996-2274-2019-294-105.

4. Kunetsov P.N., Guseva E.V., Borisov A.A. Current state and direction of development of photovoltaic power plants // Enegeticheskiye ustanovki i tekhnologii. 2018. No. 3.P.51-57.

5. Shilkina S.V. Economics of the development of the electric power industry on renewable energy sources in Russia taking into account world trends // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2018. No.3 (68). S. 137-146. DOI: 10.23968 / 1999-5571-2018-15-3-134-146.

6. Shlykov S.V. Wind power as a promising area of modern energy // Problems of electrical engineering, electric power and electrical technology (PEEE-2017). Problemy elektrotekhniki, elektroenergetiki i elektrotekhnologii (PEEE-2017). V Vserossiyskaya nauchno-tekhnologicheskaya konferentsiya (k 50 – letnemu yubileyu kafedry «Elektrosnabzheniye i elektrotekhnika» Instituta energetiki i elektrotekhniki). – Tol'yatti: Tol'yattinskiy gosudarstvennyy universitet. 2017. – P. 328-334.

7. Cheboksarov V.V., Kuznetsov P.N. Hybrid wind-solar marine power plants // Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. N. 18 (70). 2020.S. 67 - 81.

8. Lisitsyn A.N., Zadorozhnaya N.M. On the prospects of wind energy in the modern world // Innovatsionnyye tekhnologii v nauke i obrazovanii: sbornik statey IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Penza: «Nauka i Prosveshcheniye», 2017. P.36-42.

9. Esenov I.Kh., Shogenov M.M. Wind power in the mountainous areas of Rso-Alania // Perspektivy razvitiya APK v sovremennykh usloviyakh: Materialy 7 –y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Vladikavkaz: Gorskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. 2017 . p. 304-310.

10. Zakharenko S.O., Tkachenko G.N. Wind power engineering of the Tyumen region // Energetika: upravleniye, kachestvo i effektivnost' ispol'zovaniya energoresursov. Sbornik trudov IX Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. – Blagoveshchensk: Amurskiy gosudarstvennyy universitet, 2019 . P. 333-338.

11. Gzenger Sh., Elistratov VV, Denisov R.S. Wind energy in Russia: prospects, opportunities and barriers // Vozobnovlyayemaya energetika XXI vek: Energeticheskaya i ekonomicheskaya effektivnost', 2016 Materialy Mezhdunarodnogo kongressa REENCON-XXI «Vozobnovlyayemaya energetika XXI vek: Energeticheskaya i ekonomicheskaya effektivnost'». Pod red. D.O. Dunikova, O.S.Popelya. 2016 . p. 216-220.

12. Scheme and program for the development of the electric power industry of the Republic of Crimea for 2019-2023. - Moskva: Nauchno-Tekhnicheskiiy tsentr yediny energeticheskoy sistemy. 2018 . 210 p.

13. Technical report of the consumer of energy
resources: NP Energy Efficiency Expertise. 2016. 94 p.

ANALYSIS OF TECHNICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF OPERATION OF THE WIND POWER PLANTS IN CRIMEA

Bekirov E.A., Voskresenskaya S.N., Potenko V.V.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Institute of Physics and Technology
Republic of Crimea, Simferopol, Academician Vernadsky Avenue, 4
Bekirov.e.a@cfuv.ru

Summary. The article provides data on the generation and consumption of electricity by a wind farm. To maintain the operability of the wind farm, it is connected to the general grid of the power system, not only for the output of generated electricity, but also for the consumption of the necessary electricity to start the operation of wind turbines. Electricity generation, payback and net profit of a wind power plant of 12 wind turbines were estimated.

Subject of research. Wind power plants and their efficiency.

Materials and methods. The theoretical and methodological basis is the works of domestic and foreign scientists in the field of wind energy. In the work, analytical research methods were used, including predictive calculation of the annual energy production of wind turbines.

Conclusions. The instability of electricity generation using renewable energy generating units is a serious problem that affects the cost of energy produced. According to the calculations, in 14 years, provided the electricity price is equal to 1.8 rubles, the power plant will recoup the investment and begin to generate net income. The correlation coefficient was determined, which was 0.94.

Key words. Wind power plant, wind turbine, energy efficiency, power generation, revenue.

ВЕКТОРНО-ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СЛОЁВ ПРИЛОЖЕНИЙ ГИС ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ТОЧЕК ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПЛОТИН

Родригес Васкес¹ С., Мокрова² Н.В.

Национальный Исследовательский Московский Государственный Строительный Университет,

Адресс: 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26,

¹solrusita@gmail.com; ²natali_vm@mail.ru

Аннотация. Использование географических информационных систем (ГИС) широко распространено в управлении водными ресурсами. Одним из этапов разработки в этой области было использование информации ГИС не только для сопоставления и выполнения запросов, но и для анализа тенденций и принятия решений с помощью приложений, предоставляющих пространственный анализ. ГИС обеспечивают возможности для обработки пространственной информации и ее представления с помощью аналогичной модели реальности, которая представляет пространственные объекты из точки, линии и многоугольника, и тематической информации. Пространственный анализ в ГИС включает в себя набор процедур, используемых для изучения структуры и территориальных отношений на основе знания положения и характеристик географических объектов соответствующих переменных.

Предмет исследования: разграничение областей для возможных местоположений плотин с использованием геопространственных алгоритмов расстояния. Исследования основаны на гипотезе, что из геопространственного анализа расстояний между вершинами, извлеченными из слоев .shp рек и районов, имеющих большое значение для защиты, можно разграничить потенциальные районы для строительства плотин.

Материалы и методы: проанализированы литературные источники и результаты предварительных экспериментальных исследований, выполнено планирование эксперимента.

Результаты: в настоящем исследовании рассматривается использование алгоритмов обработки расстояний между точками, используемых в области географии услуг, в связи с использованием моделей локализации и распределения. Для этого выполняется сравнение алгоритмов с использованием таких критериев, как: время обработки, возможность создания новых слоев, а также создание таблиц расстояний между объектами, принадлежащими различным слоям.

Выводы: такая оценка проводится с целью выбора наиболее подходящего алгоритма для выбора подходящих точек, которые могут быть оценены в будущем анализе локализации и строительства плотин.

Ключевые слова: анализ местоположения, анализ расстояния, векторный пространственный анализ, вычислительная геометрия, вычислительные затраты, строительство плотин.

ВВЕДЕНИЕ

По словам Ю.К. Королева [1] Географическая Информационная Система (ГИС) является информационной системой, которая обрабатывает данные с географической привязкой. Она обрабатывает информацию о событиях или геопространственных объектах для создания новой информации с помощью операций манипулирования и анализа, которые помогают принимать решения. Пространственный анализ позволяет решать сложные проблемы, связанные с местоположением. Он выходит за рамки простого картографического представления, позволяя изучать характеристики различных мест и связанных между ними. Это приносит новые перспективы для принятия решений, что представляет один из наиболее заметных аспектов использования ГИС. Анализ даёт возможность объединить информацию из многих источников и получить новые наборы информации, применяя ряд пространственных операторов.

Набор инструментов пространственного анализа расширяет шансы ответить на сложные аналитические вопросы. Статистический анализ может определить, являются ли шаблоны значимых или нет. Можно проанализировать несколько слоев, чтобы вычислить пригодность места для конкретной деятельности. Кроме того, анализ изображений позволяет обнаруживать изменения с течением времени. Эти инструменты позволяют решать вопросы и принимать важные решения, выходящие за рамки простого визуального анализа [2]. Геопространственный анализ объединяет и манипулирует данными, хранящимися в ГИС, для создания новой информации. Такая информация может быть проиллюстрирована картами и обобщена в виде записей для изучения пользователями, с целью обоснования выбора, является ли принятая модель правдоподобным решением или нет. ГИС включают измерение расстояний и областей, анализ близости (буферы), операции растворения и слияния полигонов, перекрытие, анализ поверхности и анализ сети.

Целью работы является разграничение потенциальных областей для возможного строительства плотин посредством геопространственного анализа между реками и областями, важными для их защиты.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Векторный пространственный анализ вычисления расстояний в ГИС-системах.

Пространственный анализ включает в себя набор инструментов, которые расширяют возможности традиционного статистического анализа для решения тех круга задач, когда пространственное распределение данных влияет на измеряемые переменные и это считается важным. Географическая привязка данных позволяет обрабатывать набор новых понятий, таких как расстояние (между двумя точками), смежность (между двумя мультиполигонами или двумя линиями), взаимодействие и соседство (между точками) [3]. Практически все вычисления, выполняемые в векторной ГИС, основаны на положении и топологических отношениях между объектами:

Расстояние между двумя точками, почти во всех процедурах пространственного анализа включено это понятие. Хотя было определено несколько типов расстояний, в основном с евклидовым расстоянием работают как наиболее подходящим для пространственной реальности [4]. Расстояние между точками i и j также является длиной прямого сегмента между ними.

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (1)$$

Расстояние между любыми двумя объектами вычисляется как минимальное расстояние между ними; характеризуя их ближайшее расположение по отношению друг к другу. Эта логика действует во всех инструментах геообработки, которые вычисляют расстояние, включая такие инструменты, как Ближайший объект, Построить таблицу ближайших объектов и Пространственное соединение (с опцией ближайших совпадений CLOSEST).

Измерения расстояние имеют наибольшую точность, если входные данные используют систему координат равнопромежуточной проекции. Хотя вычисление расстояния может быть выполнено независимо от системы координат, результат может оказаться неточным или даже бессмысленным, если данные используют географическую систему координат или система координат задана неправильно [5].

Анализ для определения расстояния всегда призван найти минимальный интервал между двумя объектами (Рис. 1).

Несколько объектов могут оказаться на одинаковом удалении от другого объекта. В таком случае один из равноудаленных объектов будет

выбираться в качестве ближайшего случайным образом.

Если один из объектов содержит другой или находится внутри другого объекта, расстояние между ними равно 0.

Это означает, что если один объект находится внутри полигона, расстояние между ним и окружающим его полигоном равно 0.

Расстояние между двумя объектами равняется нулю всякий раз, когда у них имеется хотя бы одна общая координата x, y .

Это означает, что при пересечении, перекрытии или касании двух объектов, расстояние между ними равняется 0.

Расстояние всегда вычисляется до границы полигонального объекта, не до центра или центроида полигона.

Как отмечено выше, если объект полностью находится внутри полигона, расстояние между ним и окружающим его полигоном равно 0.

Расстояние между двумя объектами (любого типа) не меняется в зависимости от направления измерения.

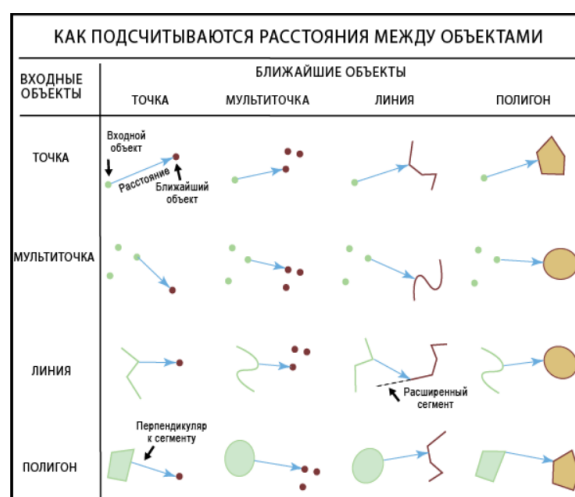


Рис. 1. Обзор процедуры вычисления расстояний между различными типами объектов и положения ближайших местоположений [5]

Fig. 1. Overview of the procedure for calculating distances between different types of objects and the position of the nearest locations [5]

Вычисление расстояния зависит от типа геометрии объектов, и также от других факторов, таких как система координат. Однако есть три основных правила, подробнее описанные ниже, которые определяют способ вычисления расстояния.

1. Расстояние между двумя точками является прямой линией, соединяющей их.

2. Расстояние от точки до линии измеряется либо как перпендикуляр, либо как расстояние до ближайшей вершины.

3. Расстояние между полилиниями определяется вершинами сегментов.

Алгоритмы вычислительной геометрии для вычисления расстояния между точками и полигонами между слоями систем ГИС.

Point distance (Расстояние точки) – ArcGIS (Рис. 2): Определяет расстояния от объектов точки входа до всех точек близлежащих объектов в пределах заданного радиуса поиска [6].

- Инструмент создает таблицу с расстояниями между двумя наборами точек. При использовании радиуса поиска по умолчанию, исчисляются расстояния от всех точек входа до всех близлежащих точек. Таблица результатов может быть довольно большой. Например, если как входные, так и близлежащие объекты имеют 1000 точек, выходная таблица может содержать миллион записей.

- Используется значительный радиус поиска, чтобы ограничить размер вывода и повысить производительность инструмента. Выходная таблица содержит только те записи, которые имеют близкую точку в радиусе поиска.

- Результаты записываются в таблицу вывода, которая содержит следующую информацию:

- INPUT_FID: идентификатор объекта входных объектов.

- NEAR_FID: идентификатор объекта близлежащих объектов.

- DISTANCE: расстояние от входного объекта до соседнего. Значение этого поля находится в линейной единице системы координат входных объектов.

- Как входные, так и предстоящие объекты могут находиться в одном наборе данных (*dataset*). В этом случае, когда входные и предстоящие объекты находятся в одной записи, результат будет опущен, чтобы избежать сообщения о том, что каждый объект находится на расстоянии 0 единиц от себя.

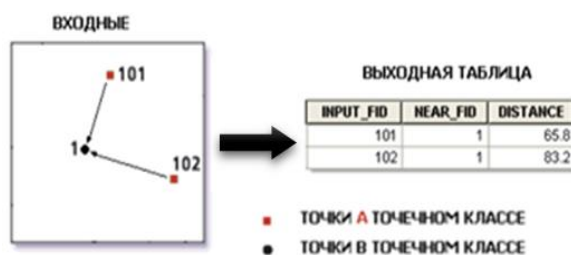


Рис. 2. Демонстрация функционирования алгоритма Point distance [6]

Fig. 2. Demonstration of the functioning of the Point distance algorithm [6]

ArcGIS Spatial Analyst: Предоставляет несколько инструментов картирования расстояний для измерения расстояния по прямой (Евклидовой) линии и расстояния, измеренного с точки зрения других факторов, таких как наклон, текущая дорожная инфраструктура и землепользование [7][8]. Вычисление совокупной стоимости поездки или расстояния картирования может предоставить

пользователю дополнительные данные, чтобы принять решение. С помощью *ArcGIS Spatial Analyst* пользователи также могут вычислять взвешенное по стоимости расстояние, самый дешёвый маршрут и кратчайшее расстояние маршрута.

В примере (Рис. 3) прямой поверхности есть только одно местоположение источника. Каждое значение ячейки указывает расстояний до источника. Расстояние (x) от ячейки A до источника измеряется по прямой [9].

- *Distance (Straight Line) o Euclidean Distance*: Функция *Straight Line* измеряет расстояние по прямой линии от каждой ячейки или точки территории до ближайшего источника. Измеряет расстояние между ячейками от центра каждой ячейки на поверхности до центра исходной ячейки. Хотя может быть более одного источника, каждое значение ячейки – это расстояние по прямой линии только до одного ближайшего источника [10].

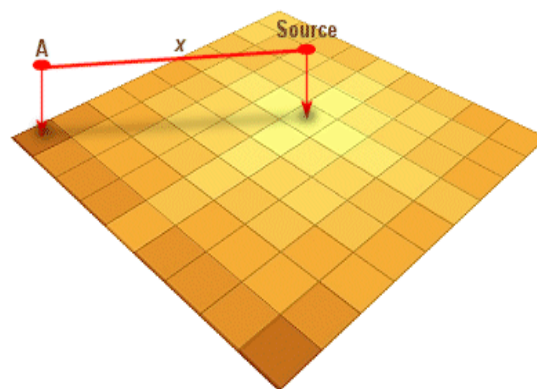


Рис. 3. Демонстрация функции расстояния
Fig. 3. Demonstration of the distance function

- *Distance (Allocation)*: Вычисляет источник, ближайший к каждой ячейке, на основе нижней совокупной стоимости на поверхности затрат при учёте расстояния от поверхности и вертикальных и горизонтальных факторов затрат. Инструменты *Distance (Allocation)* сравниваются с инструментами *Distance (Cost Weighted)*, поскольку они определяют минимальную совокупную стоимость поездки от источника к каждому местоположению растровой поверхности. Однако инструменты *Distance (Allocation)* добавляют больше сложности анализу, поскольку они способны регулировать текущее расстояние поверхности, и также другие вертикальные и горизонтальные факторы. [11]

В ближайшем соседнем пространственном соединении каждый объект входного набора данных присоединяется к объекту выходного набора данных, геометрия которого находится ближе всего к геометрии объекта входного набора данных. Результатом слияния является набор данных, который содержит атрибуты входных и комбинированных наборов данных и, как правило,

геометрию входного набора данных. Часто расстояние между характеристиками добавляется как атрибут выходного набора данных. Пространственные индексы могут использоваться для ускорения процесса.

Слой точек, линий и полигонов:

- *v.distance в GRASS¹*: Ищет ближайший элемент на векторной карте (A) для элементов, которые находятся на векторной карте (B). Позволяет импортировать в систему различную информацию о соотношениях векторов (расстояние, категория и т.) в таблице атрибутов, прикрепленную к первой векторной карте, или распечатать в 'stdout'. Позволяет создать новую векторную карту, где записываются линии, соединяющие ближайшие точки в объектах. *dmin* и/или *dmax*, они параметры алгоритма для ограничения радиуса поиска (в местоположении широты и долготы в метрах, поскольку они вычисляются как геодезические расстояния в сфере). В настоящее время этот алгоритм не работает независимо от обработки QGIS, поэтому он должен выполняться через дополнение GRASS. Ближайшее соседнее расстояние включается в таблицу атрибутов выходного слоя. [12][13]

- *NNjoin – QGIS*: NNjoin объединяет два векторных слоя (входной и соединительный слой) на основе ближайших соседних отношений. Поддерживаются все комбинации типов геометрии. Объект входного слоя присоединяется к ближайшему объекту в соединительном слое. Результатом соединения является новый векторный слой с тем же типом геометрии и системой координат, что и входной слой. Объединение слоев с различными системами координат (Coordinate reference system, CRS) поддерживается при условии, что система координат соединительного слоя является проецируемым CRS. Вычисление соединения и расстояния выполняются с использованием слоя соединения CRS. Поддерживаются автономные соединения. Для автономных соединений каждый объект в слое присоединяется к своему ближайшему соседу внутри слоя. Пространственный индекс (*QgsSpatialIndex*) используется в соединительном слое для ускорения соединения слоев с типом, отличными от множественной геометрии. [14][15]

Слой результатов – это слой памяти, которая будет содержать все атрибуты слоёв ввода и соединения, а также новый атрибут, содержащий расстояние между объединёнными объектами (название по умолчанию атрибута расстояния является «Distance», но может быть изменено пользователем). Если геометрия входного слоя

отсутствует, атрибут расстояния будет установлен на очень большое отрицательное значение, а все атрибуты слоя соединения будут установлены на *NULL*. Атрибуты слоя соединения получают префикс (по умолчанию «join_», но пользователь может установить его). Если префикс слияния не используется, атрибуты слоя слияния, которые имеют то же название, что атрибуты входного слоя, не будут включены в выходной слой.

Слой точек:

- *Distance matrix (Vector, Analysis tools)*: Это алгоритм измеряет расстояния между двумя точечными слоями и получает такие результаты, как:

- 0 — Linear ($N^{k \times 3}$) distance matrix: для каждой входной точки сообщает расстояние до каждой из k ближайших целевых точек. Выходная матрица состоит из до k строк на входную точку, и каждая строка имеет три столбца: *InputID*, *TargetID* and *Distance*.

- 1 — Standard ($N \times T$) distance matrix.

- 2 — Summary distance matrix (*mean, std. dev., min, max*): для каждой входной точки выводится статистика расстояний до её целевых точек.

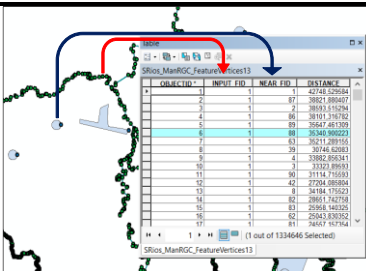
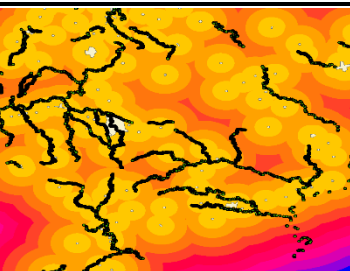
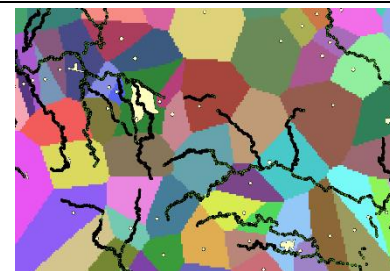
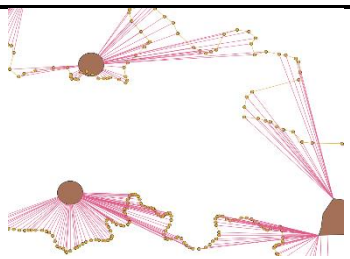
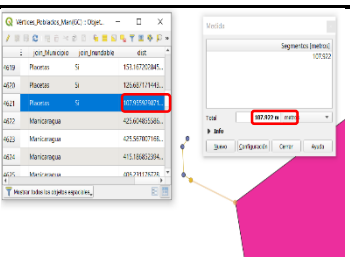
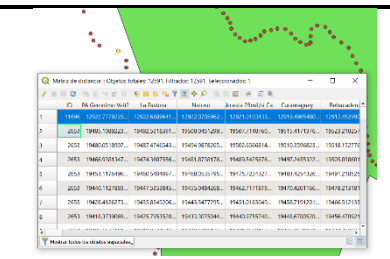
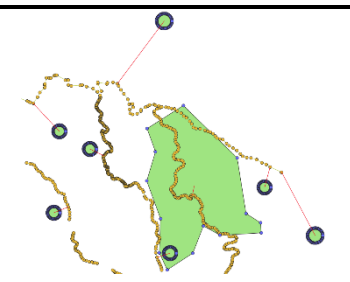
Можно ограничить расстояние до ближайших k характеристик. Чтобы предоставить только ближайших соседей, пользователь должен отметить *Использовать только ближайшие целевые точки (k)* и установить k на 1 (по умолчанию) [16][17]. Матрица расстояния не создает векторный слой, а только матрицу в виде файла .csv. Матрица связывает пользовательские идентификаторы от входного и соединительного слоя и предоставляет расстояния между точками.

Hub Distance (MMQGIS, Create): Можно использоваться для поиска ближайших соседей слоя точек. Если соединительный слой не является точечным слоем, для вычислений используется аппроксимация (центроид) геометрии соединительного слоя. Инструмент создает линию радиуса от конечных точек до центральных. Такие слои полезны для визуализации областей сбора или распределения или оценки расстояния. Линии концентратора добавляются в выходной файл со всеми атрибутами связанных точек радиуса. Он не включает в себя какой-либо сетевой анализ, поэтому, если реальные маршруты к центрам нелинейны (например, когда речь идет о городских блоках и других типах транспортных сетей), ближайшее расстояние от большого круга или Евклида может быть неправильным с точки зрения пространственного распространения данных [18].

¹ (англ. *Geographic Resources Analysis Support System* — система для обработки пространственной информации;

аббревиатура складывается в английское слово *grass* — трава)

Таблица 1. Обработка алгоритмов пространственного анализа вычисления расстояния
Table 1. Processing algorithms for spatial analysis and distance calculation

ArcGIS		
Point distance	Distance (Straight Line)	Distance (Allocation)
		
QGIS		
v.distance	NNjoin	Distance matrix
		
Hub Distance		
		

РЕЗУЛЬТАТЫ

Целью исследования является получение векторного слоя с вершинами рек, которые наиболее удалены от приоритетных объектов (городов, заводов, посевов, охраняемых районов) в соответствии с расстоянием, оцененным пользователем. Для этого, используя слой со всеми ранее извлеченными вершинами рек, оценивается ряд алгоритмов пространственного анализа и вычисления расстояний.

Проанализировав вышеупомянутые алгоритмы, решено не учитывать для следующей оценки алгоритмы, которые используют для обработки только векторные слои точек (*Point Distance*, *Distance matrix*, *Hub Distance*). Это связано с тем, что в исследовании предполагается использовать алгоритмы, позволяющие обрабатывать точечные и мультиполигональные слои. Преобразование мультиполигонального слоя в точки, с тем чтобы можно

было оценить расстояния, которые будут получены при использовании алгоритмов пространственного анализа, нецелесообразно, поскольку это не позволяет получить точки, которые на самом деле являются наиболее близкими к областям, подлежащим защите, как показано на рис. 4(а) и 4(б).

Анализ алгоритмов позволяет показать, что только два из четырех оцененных алгоритмов позволяют создавать новый слой вершин, а также таблицы расстояний между слоями объектов (мультиполигонов) и точечным слоем. При сравнении этих алгоритмов (*v.distance* и *NNjoin*) с вышеуказанными критериями, *NNjoin* представляет лучший ответ с точки зрения времени выполнения, а также алгоритм *v.distance* зависит от плагина GRASS из QGIS, поэтому алгоритм, который будет разработан в целях будущего исследования, также зависит от него. Вот почему, наконец, принято решение использовать алгоритм *NNjoin* для обработки расстояния между слоями.

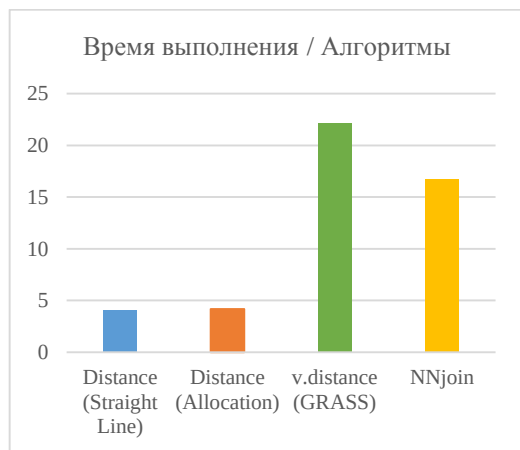


Рис. 4. Обработка пространственного анализа расстояния между слоями точка-точка (а) и слоями точка-мультиполигон (б)

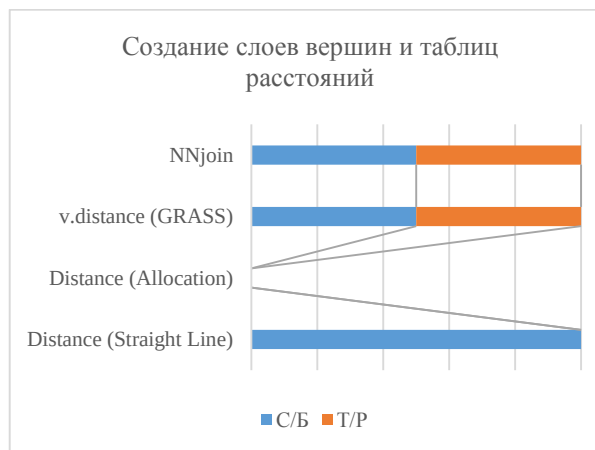
Fig. 4. Processing spatial analysis of the distance between point-to-point layers (a) and point-to-MultiPolygon layers (б)

Таблица 2. Оценка эффективности алгоритмов на основе вычислительных затрат
Table 2. Evaluating the effectiveness of algorithms based on computational costs

Алгоритмы	Время обработки	Создание нового слоя вершин (С/Б)	Таблица – Расстояние между точкой и мультиполигоном (Т/Р)
Distance (Straight Line) (ArcGIS)	04.01 (сек)	Да	Нет
Distance (Allocation) (ArcGIS)	04.18 (сек)	Нет	Нет
v.distance (GRASS) (QGIS)	22.11 (сек)	Да	Да
NNjoin (QGIS)	16.77 (сек)	Да	Да



(а)



(б)

Рис. 5. График сходимости для наилучшего выполнения для каждого алгоритма (а). Создание или нет вершинных слоев и таблиц расстояний для каждого из оцениваемых алгоритмов(б).

Fig. 5. Convergence graph for best execution for each algorithm (a). Creating or not vertex layers and distance tables for each of the evaluated algorithms(б).

ВЫВОДЫ

Строительство малых и крупных плотин обеспечивает фундаментальную поддержку экономике любой страны. Оно предназначено для повышения уровня рек, например, с целью отвода воды по ирригационным каналам для водоснабжения или орошения, для предотвращения

наводнений ниже по течению от плотины или для производства энергии. Решения о строительстве гидросооружений приводят к ряду различных последствий (демографических, экологических, социальных, культурных). Как и в случае любой структурной работы, существует риск того, что плотина выйдет из строя и затопит районы, представляющие промышленный интерес. Вот

почему пространственный анализ расстояния между потенциальными областями для строительства и областями, представляющими интерес для защиты, имеет большое значение для принятия решений.

В ходе настоящего исследования было проведено изучение литературы, и были критически разобраны наиболее часто используемые алгоритмы пространственного анализа расстояния в ГИС. Впоследствии была проведена оценка и сравнение критериев: время выполнения алгоритмов, создание вершинных слоев и создание таблиц расстояний. Выбор алгоритма учитывает не только то, что он имеет наименьшее время выполнения, но и то, что в качестве вывода выходной информации он позволяет получить допустимые значения остальных критериев.

В соответствии с основной идеей статьи решено использовать алгоритм *NNjoin* для будущих исследований, связанных с выявлением потенциальных участков рек для строительства плотин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Королев Ю.К. Общая геоинформатика. Часть I. Теоретическая геоинформатика. Выпуск 1. СПб ООО Дат. Москва, 1998. 121 с. ISBN 5-7312-0260-5.
2. ESRI. ArcGIS Pro [Электронный ресурс] // Пространственный анализ в ArcGIS Pro. 2020. URL: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/help/analysis/introduction/spatial-analysis-in-arcgis-pro.htm>.
3. Mearns B. QGIS Blueprints // Chapter3: Discovering Physical Relationships. Birmingham, UK: Packt Publishing Ltd, 2015. С. 61–93. ISBN 978-1-78528-907-1.
4. Midler J.-C. Non-Euclidean Geographic Spaces: Mapping Functional Distances // Geogr. Anal. 2010. Т. 14, № 3. С. 189–203. DOI 10.1111/j.1538-4632.1982.tb00068.x.
5. ESRI. ArcGIS Pro [Электронный ресурс] // Как инструменты близости вычисляют расстояние. 2020. URL: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/tool-reference/analysis/how-near-analysis-works.htm>.
6. ESRI. ArcGIS Desktop [Электронный ресурс] // Расстояние между точками. 2020. URL: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/tools/analysis-toolbox/point-distance.htm>.
7. ESRI. ArcGIS Spatial Analyst [Электронный ресурс] // Distance Analysis. 2020. URL: <https://www.esri.com/software/arcgis/extensions/spatialanalyst/key-features/distance>.
8. McCoy J. и др. ArcGIS 9 (Using ArcGIS Spatial Analyst). 4th изд. / под ред. Esri Press. Нью-Йорк, США, 2004. 233 с. ISBN 978-1589481053.
9. Department of Geography and Environmental Science [Электронный ресурс] // Straight Line Distance function. 2020. URL: <http://www.geography.hunter.cuny.edu/~jochen/GTEC/H361/lectures/lecture11/concepts/StraightLineDistancefunction.htm>.
10. Gottschalk L., Leblois E., Skøien J.O. Distance measures for hydrological data having a support // J. Hydrol. 2011. № 402. С. 415–421. DOI 10.1016/j.jhydrol.2011.03.020.
11. ESRI. ArcGIS Desktop [Электронный ресурс] // Распределение по путевому расстоянию. 2020. URL: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/path-distance-allocation.htm>.
12. GRASS Development Team. GRASS GIS - Руководство [Электронный ресурс] // v.distance. 2020. URL: <https://grass.osgeo.org/grass78/manuals/v.distance.html>.
13. Branger F. и др. Use of open-source GIS for the pre-processing of distributed hydrological models // Lecture Notes in Geoinformation and Cartography: Geospatial Free and Open Source Software in the 21st Century. Berlin, Heidelberg: Springer, Berlin, Heidelberg, 2012. № 199579. С. 35–48. DOI 10.1007/978-3-642-10595-1_3.
14. Håvard Tveite. NNJoin 3.1.3 документация [Электронный ресурс] // The QGIS NNJoin Plugin. 2019. URL: <http://arken.nmbu.no/~havatv/gis/qgisplugins/NNJoin/>.
15. Alexander J.S. и др. On the high trail: Examining determinants of site use by the Endangered snow leopard *Panthera uncia* in Qilianshan, China // Oryx. Cambridge University Press, 2016. Т. 50, № 2. С. 231–238. DOI 10.1017/S0030605315001027.
16. QGIS project. Quantum GIS [Электронный ресурс] // fTools Plugin. 2012. URL: https://qgis-documentation.readthedocs.io/en/latest/plugins/plugins_ftools.html.
17. Titova T.S. и др. Срок эксплуатации грунтовых плотин // Инженерно-строительный журнал. 2017. № 1. С. 34–43. DOI 10.18720/MCE.69.3.
18. Minn M. MMQGIS [Электронный ресурс] // Hub Lines / Distance. 2020. URL: <http://michaelminn.com/linux/mmqgis/>.

REFERENCES

1. Korolev Y. K. General Geoinformatics. Part I. Theoretical Geoinformatics. Issue 1. JV LLC DAT. Moscow, 1998. 121 p. ISBN 5-7312-0260-5.
2. ESRI. ArcGIS Pro [Electronic resource] // Spatial analysis in ArcGIS Pro. 2020. URL: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/help/analysis/introduction/spatial-analysis-in-arcgis-pro.htm>.
3. Mearns B. QGIS Blueprints // Chapter3: Discovering Physical Relationships. Birmingham, UK: Packt Publishing Ltd, 2015. P. 61–93. ISBN 978-1-78528-907-1.
4. Midler J.-C. Non-Euclidean Geographic Spaces: Mapping Functional Distances // Geogr. Anal. 2010. Vol. 14, № 3. P. 189–203. DOI 10.1111/j.1538-4632.1982.tb00068.x.
5. ESRI. ArcGIS Pro [Electronic resource] // How proximity tools calculate distance. 2020. URL: <https://pro.arcgis.com/ru/pro-app/tool-reference/analysis/how-near-analysis-works.htm>.

6. ESRI. ArcGIS Desktop [Electronic resource] // Distance between points. 2020. URL: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/tools/analysis-toolbox/point-distance.htm>.
7. ESRI. ArcGIS Spatial Analyst [Electronic resource] // Distance Analysis. 2020. URL: <https://www.esri.com/software/arcgis/extensions/spatialanalyst/key-features/distance>.
8. McCoy J. et al. ArcGIS 9 (Using ArcGIS Spatial Analyst). 4th ed. / ed. Esri Press. New York, USA, 2004. 233 p. ISBN 978-1589481053.
9. Department of Geography and Environmental Science [Electronic resource] // Straight Line Distance function. 2020. URL: <http://www.geography.hunter.cuny.edu/~jochen/GTEC/H361/lectures/lecture11/concepts/Straight Line Distance function.htm>.
10. Gottschalk L., Leblois E., Skøien J.O. Distance measures for hydrological data having a support // J. Hydrol. 2011. № 402. P. 415–421. DOI 10.1016/j.jhydrol.2011.03.020.
11. ESRI. ArcGIS Desktop [Electronic resource] // The distribution of the path distance. 2020. URL: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/path-distance-allocation.htm>.
12. GRASS Development Team. GRASS GIS - Guide [Electronic resource] // v.distance. 2020. URL: <https://grass.osgeo.org/grass78/manuals/v.distance.html>
13. Branger F. et al. Use of open-source GIS for the pre-processing of distributed hydrological models // Lecture Notes in Geoinformation and Cartography: Geospatial Free and Open Source Software in the 21st Century. Berlin, Heidelberg: Springer, Berlin, Heidelberg, 2012. № 199579. P. 35–48. DOI https://doi.org/10.1007/978-3-642-10595-1_3.
14. Håvard Tveite. NNJoin 3.1.3 Documentation [Electronic resource] // The QGIS NNJoin Plugin. 2019. URL: <http://arken.nmbu.no/~havatv/gis/qgisplugins/NNJoin/>.
15. Alexander J.S. et al. On the high trail: Examining determinants of site use by the Endangered snow leopard *Panthera uncia* in Qilianshan, China // ORYX. Cambridge University Press, 2016. Vol. 50, № 2. P. 231–238. DOI 10.1017/S0030605315001027.
16. QGIS project. Quantum GIS [Electronic resource] // fTools Plugin. 2012. URL: https://qgis-documentation.readthedocs.io/en/latest/plugins/plugins_ftools.html.
17. Titova T.S. et al. The period of operation of earth dams // Civil engineering magazine. 2017. № 1. P. 34–43. DOI 10.18720/MCE.69.3.
18. Minn M. MMQGIS [Electronic resource] // Hub Lines / Distance. 2020. URL: <http://michaelminn.com/linux/mmqgis/>.

VECTOR-SPATIAL ANALYSIS OF GIS APPLICATION LAYERS FOR PLACING STRATEGIC POINTS IN DAM DESIGN

Rodríguez Vázquez ¹ S., Mokrova² N. V.

Moscow State University of Civil Engineering (MGSU), 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation.
e-mail: ¹solrusita@gmail.com; ²natali_vm@mail.ru

Summary: The use of geographic information systems (GIS) is widespread in water resources management. One of the development stages in this area was the use of GIS information not only for matching and executing queries, but also for analyzing trends and making decisions using applications that provide spatial analysis. GIS provides the ability to process spatial information and represent it using a similar reality model that represents spatial features from a point, line, and polygon, and thematic information. Spatial analysis in GIS includes a set of procedures used to study the structure and territorial relations based on knowledge of the position and characteristics of geographical features of the corresponding variables.

Subject: delineation of areas for potential location of dams with the use of geospatial algorithms for distance. The research is based on the hypothesis that from geospatial analysis of the distances between peaks extracted from the .shp layers of rivers and areas of great importance for protection, it is possible to delineate potential areas for dam construction.

Materials and methods: literature sources and results of preliminary experimental studies are analyzed; experimental planning is carried out.

Results: This study examines the use of algorithms for processing distances between points used in the field of service geography, in connection with the use of localization and distribution models. To do this, algorithms are compared using criteria such as processing time, the ability to create new layers, and creating tables of distances between objects belonging to different layers.

Conclusions: This evaluation is performed in order to select the most appropriate algorithm for selecting suitable points that can be evaluated in future analysis of localization and dam construction.

Key words: location analysis, distance analysis, vector spatial analysis, computational geometry, computational cost, dam construction.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРНОЙ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТЬЮ ЗАВИСИМЫХ СЕЧЕНИЙ

Чекалин А.А., Решетников М.К., Шпилев В.В., Бородулина С.В., Рязанов С.А.

ФГБОУВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», г.Саратов,
ул.Политехническая, 77
e-mail: reshmk@rambler.ru, chekaliny@mail.ru, vasya-shpilev@rambler.ru

Аннотация. Для конструирования поверхностей в архитектуре, как правило, применяются универсальные методики, разработанные для других технических отраслей. В первую очередь это кинематические поверхности общего вида и интерполяционные кубические сплайны для моделирования сложных кусочно-гладких поверхностей. Авторы предлагают использовать для задач геометрического моделирования архитектурных форм разрабатываемые ими ингеродифференциальный сплайн четвертой степени. Для расчетов и построений на компьютере предлагаемый сплайн ненамного сложнее традиционных кубических сплайнов, так как имеет один дополнительный параметр – коэффициент. Однако это позволяет при конструировании локально управлять формой кривой или поверхности, то есть, изменять форму на отдельных участках, не затрагивая остальные участки. В статье предлагается методика построения геометрической модели кинематической поверхности зависимых сечений с параболой четвертой степени в качестве образующей. Если в качестве направляющей используются кубические сплайны, поверхность представляет собой неоднородный (гетерогенный) сплайн степени 3×4 . В статье показывается, что поверхность на основе предложенного математического аппарата может быть составной кусочно-гладкой. Частный случай конструирования поверхности рассматривается на примере создания модели поверхности фасада жилого дома по существующему концепту. Алгоритм можно легко запрограммировать и добавить в качестве инструмента в существующие системы автоматизированного проектирования.

Ключевые слова. Геометрическая модель поверхности, сплайн, парабола, поверхность, кривая.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время ускоренное развитие строительной отрасли обозначило интерес к нетрадиционным решениям архитектурных задач в области геометрии. Долгое время советское градостроительство решало наиболее важные задачи урбанистики, такие как скорейшее возведение доступного жилья, развитие инфраструктуры и т.д. Сегодня крупный и средний бизнес формирует запрос на более сложные архитектурные формы, чем традиционные промышленные и жилые здания. В крупных городах спортивные сооружения, деловые, торговые, развлекательные центры строятся с учетом эстетических требований (привлекательность, узнаваемость и т.п.), наряду с функциональными характеристиками.

Решение вопросов конструирования поверхностей является одной из основных задач инженерной геометрии [1-3]. В некоторых отраслях техники форма поверхностей изделий является традиционно сложной. Это в первую очередь авиа-, судо- и автомобилестроение, легкая и обувная промышленность. Здесь разработаны и продолжают

развиваться методы конструирования поверхностей с учетом требованиям к изделиям именно в эти отраслях [4-7]. Архитектурное проектирование использует относительно небольшой набор общих методов конструирования криволинейных поверхностей, которые реализованы в компьютерных программах [8-10]. Предлагается для геометрического моделирования архитектурных форм использовать каркасно-кинематическую поверхность на основе интегродифференциальной параболы четвертого порядка [11].

МЕТОДЫ

Для конструирования сложных составных кусочно-гладких кривых линий наибольшее распространение получили кривые третьего порядка – кубические сплайны и кривые Безье. Дуга такой кривой, так или иначе, задается двумя конечными точками и касательными в этих точках и не имеет других параметров для локального изменения формы, кроме этих касательных. Однако такая конструкция наилучшим образом подходит для моделирования составных кусочно-гладких кривых – обводов [12].

Скалярная сплайн-функция на области определения $[x_1, x_2]$ параметра x определяется формулой

$$y = S_3(x) = y_1\varphi_1(u) + y_2\varphi_2(u) + (m_1\varphi_3(u) + m_2\varphi_4(u))h, \quad (1)$$

где y_1 и y_2 – значения сплайн-функции на концах дуги, m_1 и m_2 – значения производных:

$m_1 = \frac{dS(x_1)}{dx}$, $m_2 = \frac{dS(x_2)}{dx}$, $h = x_2 - x_1$, φ - весовые функции третьего порядка: $\varphi_1 = 1 - 3u^2 + 2u^3$, $\varphi_2 = 3u^2 - 2u^3$, $\varphi_3 = u - 2u^2 + u^3$, $\varphi_4 = -u^2 + u^3$, $u = \frac{x_2 - x_1}{h}$ (Рис.1.).

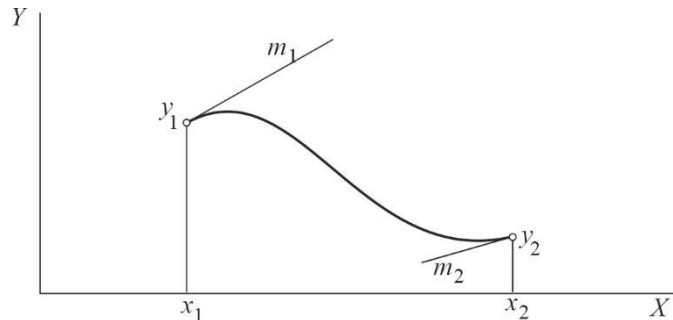


Рис. 1. Кубическая парабола.

Fig. 1. Cubic parabola.

Интегродифференциальная параболическая функция четвертого порядка имеет дополнительный параметр. Парабола задается формулой

$$y = S_4(x) = y_1\psi_1(u) + y_2\psi_2(u) + (m_1\psi_3(u) + m_2\psi_4(u))h + \frac{I_1^2\psi_5(u)}{h}, \quad (2)$$

где ψ - весовые функции четвертого порядка: $\psi_1 = (1+5u)(1-3u)(1-u)^2$, $\psi_2 = (3u-2)(6-5u)u^2$, $\psi_3 = u(2-5u)(1-u)^2/2$, $\psi_4 = (1-u)(3-5u)u^2/2$, $\psi_5 = 30u^2(1-u)^2$.

Функция (2) описывает кривую, имеющую в общем случае две точки перегиба, а в частных случаях - одну или вообще не имеет таковых (рис. 2а). Первые четыре коэффициента имеют тот же смысл, что и для кубической параболы (1). Геометрический смысл пятого параметра I_1^2 - площадь координатной плоскости под графиком функции.

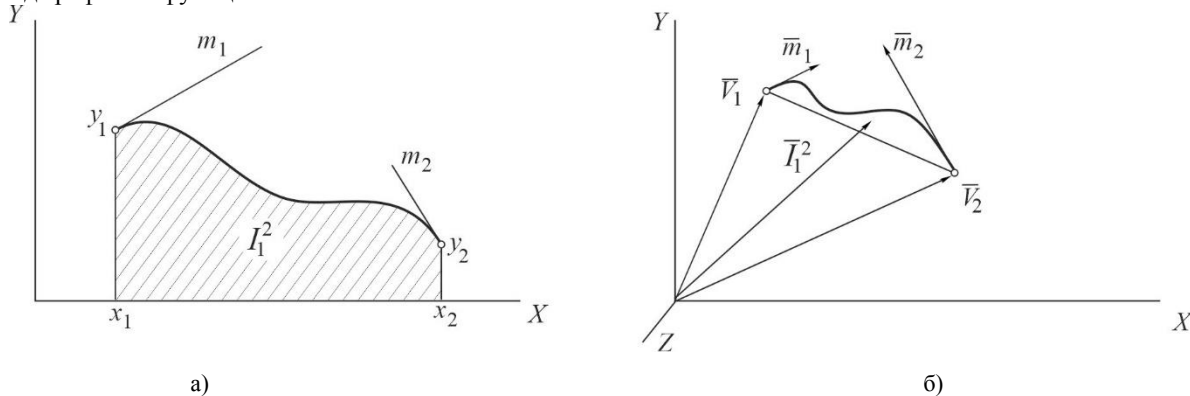


Рис. 2. Парабола четвертой степени.

Fig. 2. Parabola of the fourth degree.

В векторной форме дуга параболы четвертого порядка задается пятью векторами: радиус-векторы концов дуги, касательные векторы на концах дуги и вектором-интегралом, позволяющим изменять форму кривой (Рис. 2б)

$$\bar{V}_4(t) = \bar{V}_1\psi_1(u) + \bar{V}_2\psi_2(u) + (\bar{m}_1\psi_3(u) + \bar{m}_2\psi_4(u))h + \frac{\bar{I}_1^2\psi_5(u)}{h}, \quad (3)$$

Вектор-интеграл $\bar{I}_1^2$ указывает на центр массы площади, стянутой дугой параболы.

Напомним, что векторная функция в трехмерном пространстве представляет собой вектор, имеющий компонентами три скалярные функции от одного параметра

$$\bar{V}(t) = V_x \cdot \bar{i} + V_y \cdot \bar{j} + V_z \cdot \bar{k},$$

где $\bar{i}$, $\bar{j}$ и $\bar{k}$ - тройка базисных векторов.

Кинематическая поверхность образуется перемещением кривой постоянной или переменной формы по какому либо закону, например вдоль одной или нескольких линий. Подвижная линия называется образующей, линии, задающие закон перемещения - направляющими (Рис. 3).

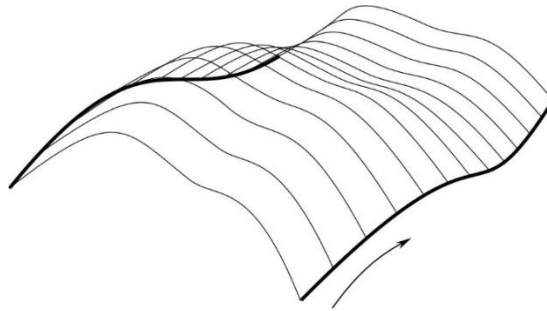


Рис. 3. Кинематическая поверхность с двумя направляющими.
Fig. 3. Kinematic surface with two guides.

Рассмотрим алгоритм конструирования кинематической поверхности с кривой четвертого порядка в качестве образующей.

Зададим две a и b направляющие для концов дуги образующей, например кубическими параболлами.

$$\begin{aligned}\bar{V}_a(v) &= \bar{V}_1^a \varphi_1(v) + \bar{V}_2^a \varphi_2(v) + (\bar{m}_1^a \varphi_3(v) + \bar{m}_2^a \varphi_4(v))s \text{ и} \\ \bar{V}_b(v) &= \bar{V}_1^b \varphi_1(v) + \bar{V}_2^b \varphi_2(v) + (\bar{m}_1^b \varphi_3(v) + \bar{m}_2^b \varphi_4(v))s,\end{aligned}\quad (5)$$

где s зависит от параметризации. Рекомендуется считать $s = |V_2 - V_1|$

Функции (5) зависят от одного параметра $v \in [0,1]$, поэтому между точками кривых имеется взаимно-однозначное соответствие. Кривые удобно изображать в виде графиков скалярных функций, являющихся компонентами векторов (5) (Рис. 3). При реализации данного алгоритма в системах автоматизированного проектирования проектировщик может добиваться необходимой ему формы направляющих оперируя этими скалярными функциями в интерактивном режиме наблюдая за результатами.

Таким же образом зададим направляющие для касательных векторов m_a и m_b .

$$\begin{aligned}\bar{V}_{ma}(v) &= \bar{V}_1^{ma} \varphi_1(v) + \bar{V}_2^{ma} \varphi_2(v) + (\bar{m}_1^{ma} \varphi_3(v) + \bar{m}_2^{ma} \varphi_4(v))s, \\ \bar{V}_{mb}(v) &= \bar{V}_1^{mb} \varphi_1(v) + \bar{V}_2^{mb} \varphi_2(v) + (\bar{m}_1^{mb} \varphi_3(v) + \bar{m}_2^{mb} \varphi_4(v))s\end{aligned}\quad (6)$$

Зададим пятую направляющую для радиус-вектора I_a^b .

$$\bar{V}_I(v) = \bar{V}_1^I \varphi_1(v) + \bar{V}_2^I \varphi_2(v) + (\bar{m}_1^I \varphi_3(v) + \bar{m}_2^I \varphi_4(v))s \quad (7)$$

Изменяя форму направляющих $\bar{V}_{ma}(v)$, $\bar{V}_{mb}(v)$ и $\bar{V}_I(v)$ проектировщик добивается нужной формы поверхности в пределах возможностей рассматриваемого инструмента.

Формула кинематической поверхности зависимых неплюских сечений окончательно имеет вид

$$\bar{W}(u, v) = \psi(u) \bar{G} \varphi^T(v), \text{ где} \quad (8)$$

$$\bar{G} = \begin{pmatrix} \bar{V}_1^a & \bar{V}_2^a & \bar{m}_1^a & \bar{m}_2^a \\ \bar{V}_1^b & \bar{V}_2^b & \bar{m}_1^b & \bar{m}_2^b \\ \bar{V}_1^{ma} & \bar{V}_2^{ma} & \bar{m}_1^{ma} & \bar{m}_2^{ma} \\ \bar{V}_1^{mb} & \bar{V}_2^{mb} & \bar{m}_1^{mb} & \bar{m}_2^{mb} \\ \bar{I}_1^{ab} & \bar{I}_2^{ab} & \bar{m}_1^I & \bar{m}_2^I \end{pmatrix}, \quad \psi(u) = (\psi_1(u) \psi_2(u) \psi_3(u) \psi_4(u) \psi_5), \quad \varphi(v) = (\varphi_1(v) \varphi_2(v) \varphi_3(v) \varphi_4(v)).$$

Поверхность (8) является двумерным неоднородным сплайном степени 3×4 . Неоднородным мы его называем в том смысле, что в при фиксированном параметре u он представляет собой кубический сплайн, а при фиксировании v - интегродифференциальный сплайн четвертой степени. Благодаря этому направляющие и образующая могут быть составными сплайновыми кривыми, то есть иметь более сложную форму.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Рассмотрим пример конструирования поверхности. На рис. 4 жилой дом в Нью Дели с необычными для спального района архитектурой и концептом. Проект разработан канадской архитектурной студией Infact Studio. Необычный фасад, основанный на концепции гибкого бетона, хорошо подходит для жаркого тропического и

экваториального климата, так как создает глубокие тени и не пропускает прямой солнечный свет вовнутрь помещения.



Рис. 4. Концепт криволинейного фасада
Fig. 4. The concept of a curved facade

Горизонтальное сечение теоретической поверхности фасада – плоская кривая с четырьмя точками перегиба. Поэтому образующая поверхности будет составлена из двух звеньев интегродифференциального сплайна (3), стыкованных по первому порядку гладкости.

На рис. 5 показано промежуточное горизонтальное сечение $\bar{W}(u_l, v)$ поверхности при фиксированном u на высоте $z=l$

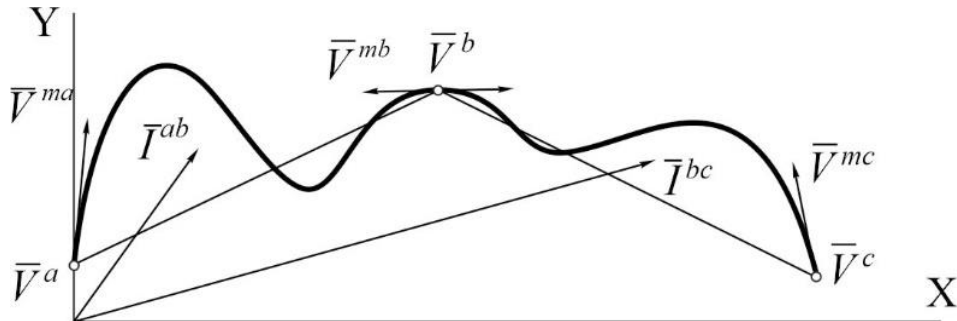


Рис. 5. Горизонтальное сечение – образующая поверхности.

Fig. 5. Horizontal section - generatrix of the surface.

Для модели поверхности потребуется задать 8 направляющих: a, b и c – направляющие для опорных точек, ma, mb и mc – направляющие для касательных векторов, I_{ab}, I_{bc} направляющие для интеграл-векторов. Образующая в каждом своем положении параллельна горизонтальной плоскости (Рис. 6).

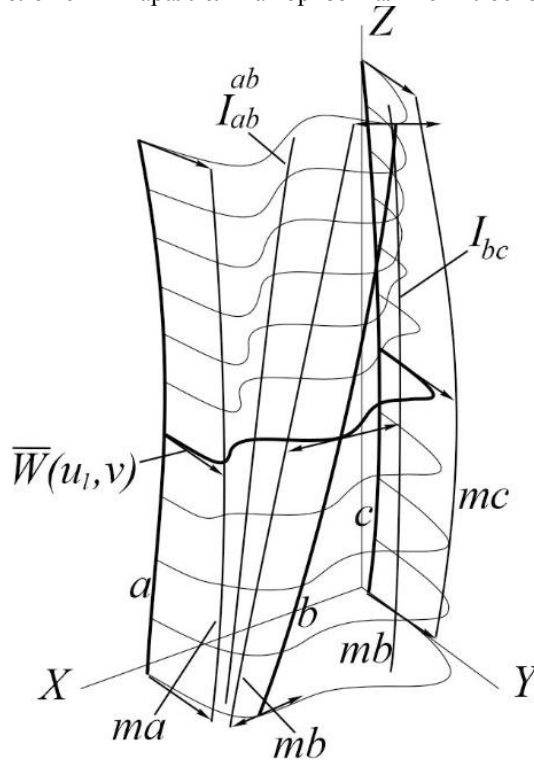


Рис. 6. Модель поверхности зависимых сечений.

Fig. 6. Model of the surface of dependent sections.

Таким образом, строим поверхность фасада как две гладко состыкованные по линии b поверхности зависимых плоских сечений

$$\bar{G}_a^b \cup \bar{G}_b^c = \begin{pmatrix} \bar{V}_1^a & \bar{V}_2^a & \bar{m}_1^a & \bar{m}_2^a \\ \bar{V}_1^b & \bar{V}_2^b & \bar{m}_1^b & \bar{m}_2^b \\ \bar{V}_1^{ma} & \bar{V}_2^{ma} & \bar{m}_1^{ma} & \bar{m}_2^{ma} \\ \bar{V}_1^{mb} & \bar{V}_2^{mb} & \bar{m}_1^{mb} & \bar{m}_2^{mb} \\ \bar{I}_1^{ab} & \bar{I}_2^{ab} & \bar{m}_1^{Iab} & \bar{m}_2^{Iab} \end{pmatrix} \cup \begin{pmatrix} \bar{V}_1^b & \bar{V}_2^b & \bar{m}_1^b & \bar{m}_2^b \\ \bar{V}_1^c & \bar{V}_2^c & \bar{m}_1^c & \bar{m}_2^c \\ \bar{V}_1^{mb} & \bar{V}_2^{mb} & \bar{m}_1^{mb} & \bar{m}_2^{mb} \\ \bar{V}_1^{mc} & \bar{V}_2^{mc} & \bar{m}_1^{mc} & \bar{m}_2^{mc} \\ \bar{I}_1^{bc} & \bar{I}_2^{bc} & \bar{m}_1^{Ibc} & \bar{m}_2^{Ibc} \end{pmatrix}$$

Окончательная модель поверхности показана на рис. 7.

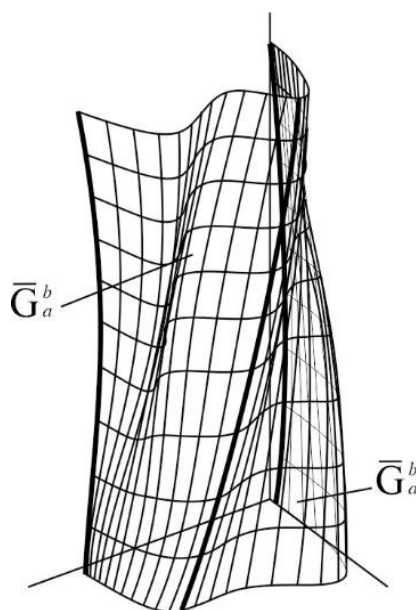


Рис. 7. Комплексная поверхность.

Fig. 7. Complex surface.

В приведенном примере в качестве направляющих выбраны дуги кубических парабол. Однако это могут быть любые кривые, на усмотрение архитектора.

Система автоматизированного проектирования может быть построена так, что бы предоставлять широкий выбор кривых для этой цели, в том числе составных.

В данном конкретном случае модель поверхности может быть упрощена и принять частный вид:

- векторные функции направляющих имеют по две компоненты и зависят от параметра z , который заменяет параметр v в (8);

- векторная функция образующей имеет две компоненты

$$\vec{V}(t) = V_x \cdot \vec{i} + V_y \cdot \vec{j}.$$

ВЫВОДЫ

Представленная методика конструирования поверхности представляет собой гибкий универсальный аппарат для геометрического моделирования кинематических поверхностей и применения в проектировании архитектурных объектов. Направляющими для рассмотренной поверхности может так же служить сплайн четвертой степени. Тогда поверхность становится двумерным сплайном степени 4×4 . Алгоритм построения модели может быть легко запрограммирован и добавлен в качестве инструмента в программы САПР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Г.С. Конструирование технических поверхностей (Математическое моделирование на основе нелинейных преобразований) [Текст] / Г.С. Иванов. – М.: Машиностроение, 1987. – 192 с.
2. Короткий В.А. Компьютерное моделирование кинематических поверхностей

[Текст] / В.А. Короткий, Е.А. Усманова, Л.И. Храмова // Геометрия и графика. – 2016. – Т.3, - №4. – С. 19-26. DOI: 10.12737/17347.

3. Гирн А.Г. Критерии выбора способа конструирования обвода. [Текст]/ В кн.: Автоматизация технологической подготовки производства на базе систем автоматизации проектирования. Омск, 1980, с. 97-101.

4. Осипов В.А., Лелюшенко С.И., Чистяков Ф.К. Аналитическое описание аэродинамических поверхностей методом специального контура 3 кн.: Машинное проектирование, увязка и воспроизведение сложных деталей в авиационном. Иркутск, 1976, с 68-70.

5. Осипов В.А. САПР и инженерно-геометрические задачи авиационной техники. Изв. высш. учебн. заведений. Авиаци. техника, 1980, № 2, с. 119-122.

6. Рейнов М.Н. Математическая модель судовых поверхностей. -Л.: Судостроение, 1977. 32 с.

7. Кривошапенко С.Н. Энциклопедия аналитических поверхностей [Текст]/ С.Н. Кривошапенко, В.Н. Иванов. – М.: Либликом, 2010. – 560 с.

8. Кривошапко С.Н. Построение, расчет и возможность применения торсовых оболочек в тонкостенных конструкциях // Расчет оболочек строительных конструкций. – М.: изд. УДН, 1982. – С. 54-66

9. Авдотьян Л.Н. Математика и электронно-вычислительная техника в решении прикладных градостроительных задач. – М.: ЦНТИ госгражданстроя, 1966.

10. Дергунов В.И., Жилина Н.Д., Попов Е.В. Основы компьютерных технологий в проектировании. – Н.Новгород: Изд-во ННГАСУ, 2003. – 157 с.

11. Чекалин А.А. Моделирование кусочно-гладкой поверхности двумерным сплайном

различных степеней [Текст] / А.А. Чекалин, М.К. Решетников, Ю.А. Зайцев // Научно-методические проблемы графической подготовки в техническом вузе на современном этапе : материалы науч.-метод. конф. посвящ. 80-летию АГТУ, г. Астрахань, 15-17 сент. 2010 г. / АГТУ. - Астрахань, 2010. - С. 200-206.

12. Фокс А., Пратт М. Вычислительная геометрия. - М.: Мир, 1982. - 304 с.

REFERENCES

1. Ivanov G.S. *Konstruirovaniye tehnikeskikh poverhnostey (matematicheskoye modelirovaniye na osnove nelineynykh preobrazovaniy)* [Technical surface's construction (mathematic modeling on based nonlinear transformation)]/ Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1987, 192 p.

2. Korotkiy V., Usmanova E., Khranova L., *Komp'yuternoye modelirovaniye kinematicheskikh poverhnostey* [Computer simulation of Kinematic Surfaces]. 2016, v/ 3, i. 4, pp. 19-26.

3. Girn A.G. *Kriterii vybora sposoba konstruirovaniya obroda. Kn.: Avtomatizatsiya tehnologicheskoy podgotovki proizvodstva na baze sistem avtomatizatsii prektirvaniya* [Criteria for choosing a path design method. Vol.: Automation of technological preparation of production based on automation systems for shutting down]. Omsk, 1980, pp. 97-101.

4. Osipov V.A., Leljushenko S.I., Chistjakov F.K. *Analiticheskoye opisanie ajerodinamicheskikh poverhnostey metodom special'nogo kontura. Kn. 3: Mashinnoye proektirovaniye, uvjazka i vosproizvedeniye slozhnykh detaley v aviastroenii.* [Analytical description of aerodynamic surfaces using the special contour method. Vol. 3: Machine design, linking and reproduction of complex parts in aircraft construction]. Irkutsk, 1976, pp. 68-70.

5. Osipov V.A. *SAPR i inzhenerno-geometricheskie zadachi aviacionnoy tekhniki. Izv. vyssh. uchebn. zavedeniy. Aviac. Tekhnika* [CAD and engineering and geometric problems of aviation technology. News vysh.

educational institutions. Aviation technology]. 1980, Vol. 2, pp. 119-122.

6. Rejnov M.N. *Matematicheskaya model' sudovoy poverhnosti* [Mathematical model of the ship's surface]. L.: Sudostroyeniye, 1977. 32 p.

7. Krivoshepenko S.N., Ivanov V.N. *Entsiklopedia analiticheskikh poverhnostey* [Encyclopedia of analytical surfaces]. Moscow. Librokom Publ., 2010. 560 p.

8. Krivoshepenko S.N. *Postroyeniye, raschet i vozmozhnost' primeneniya torsovykh obolochek v tonkostennykh konstruktsiyakh* (Construction, calculation and the possibility of using torso shells in thin-walled structures)// *Raschet obolochek stroitel'nykh konstruktsey.* - M.: ed. UDN, 1982. - pp. 54-66

9. Avdot'in L.N. *Matematika i elektronno-vychislitel'naya tekhnika v reshenii prikladnykh gradostroitel'nykh zadach.* (Mathematics and computer technology in solving applied urban planning problems.) - M.: TSNTI gosgrazhdanstroya, 1966

10. Dergunov V.I., Zhilina N.D., Popov E.V. *Osnovy komp'yuternykh tekhnologiy v proyektirovanii* (Fundamentals of computer technology in design) - N.Novgorod: Pub. NNGASU, 2003. - 157 p.

11. Chekalin A. A., Reshetnikov M. K., Zajcev Ju. A. *Modelirovaniye kusochno-gladkoj poverhnosti dvumernym splajnom razlichnykh stepeney.* Nauchno-metodicheskie problemy graficheskoy podgotovki v tehnikeskom vuze na sovremennom etape: materialy nauch.-metod. konf. po-svjashh. 80-letiju AGTU [Modeling a piecewise-smooth surface with a two-dimensional spline of various degrees. Scientific and methodological problems of graphic training in a technical university at the present stage: materials scientific method. conf. dedicated 80th anniversary of AGTU]. Astrahan', 15-17 sent. 2010, AGTU pp. 200-206.

12. Foks A., Pratt M. *Vychislitel'naya geometriya. Primeneniye v proektirovanii I na proizvodstve* [Computing Geometry in Design and Production]. Moscow, Mir Publ. 1982, 304 p.

MODELING ARCHITECTURAL FORM SURFACE DEPENDENT SECTIONS

Chekalin A.A., Reshetnikov M.K., Shpilev V.V., Borodulina S.V., Ryazanov S.A.

Saratov State Technical University, Saratov, Russian Federation

e-mail: reshmk@rambler.ru, chekaliny@mail.ru, vasya-shpilev@rambler.ru, despro@mail.ru

Summary: For the design of surfaces in architecture, as a rule, universal techniques developed for other technical industries are used. First of all, these are general kinematic surfaces and interpolation cubic splines for modeling complex piecewise smooth surfaces. The authors propose to use the fourth degree inerodifferential spline developed by them for problems of geometric modeling of architectural forms. For calculations and constructions on a computer, the proposed spline is not much more complicated than traditional cubic splines, since it has one additional parameter - a coefficient. However, this allows you to locally control the shape of a curve or surface during design, that is, to change the shape in individual areas without affecting other areas. The article proposes a method for constructing a geometric model of the kinematic surface of dependent sections with a fourth degree parabola as a generator. When using cubic splines as a guide, the surface is a 3×4 non-uniform (heterogeneous) spline. The article shows that the surface on the basis of the proposed mathematical apparatus can be composite piecewise-smooth. A particular case of surface design is considered on the example of creating a model of the surface of the facade of a residential building according to the existing concept. The algorithm can be easily programmed and added as a tool to existing CAD systems.

Key words: Geometric surface model, spline, parabola, surface, curve.

ФОРМООБРАЗОВАНИЕ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЧЕРВЯЧНОГО КОЛЕСА И ЧЕРВЯКА ЗУБОРЕЗНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ С МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПРОИЗВОДЯЩЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рязанов¹ С.А., Решетников² М.К., Шпилев³ В.В.

^{1, 2, 3} ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»,
Адрес: г. Саратов, ул. Политехническая, 77

¹ despro@mail.ru; ² graphic@sstu.ru; ³ vasya-shpilev@rambler.ru

Аннотация: обоснована актуальность теоретических исследований по применению геометрических возможностей современных систем CAD, которые позволяют перейти от аналитического описания взаимодействия контактирующих поверхностей элементов червячных передач и сосредоточиться на реализацию алгоритмов их взаимодействия. Показано использование средств ядра геометрического моделирования при виртуальном имитационном нарезании элементов, участвующих в формообразовании червячной пары. Показано использование модифицированной производящей поверхности для внесения преднамеренных погрешностей, которые неизбежно возникают при попытке изготовить и использовать реальную червячную пару.

Предмет исследования: геометрическое и компьютерное кинематическое моделирование процесса формообразования цилиндрических червячных передач.

Материалы и методы: статья написана на основе изучения материалов научных статей, доступных электронных ресурсов; в статье использованы методы аналитической геометрии и алгоритмы геометрического компьютерного моделирования.

Результаты: применение методов компьютерного геометрического твердотельного моделирования позволяет оставить только один этап подготовки производства нового изделия машиностроения, который можно назвать – геометрический синтез с учетом конфигурации рабочего пространства.

Выводы: на основании изученных источников представлена геометрическая модель производящей поверхности для формообразования элементов червячной пары с модифицированным рабочим профилем.

Ключевые слова: трехмерное моделирование, твердотельное моделирование, зубчатые колеса, червячное зацепление, зуборезный инструмент, модифицированная производящая поверхность.

ВВЕДЕНИЕ

Червячные передачи, конструктивной особенностью которых, является применение цилиндрического червяка, а также, глобoidные и спироидные передачи, широко применяются в большинстве современных машиностроительных изделий. Червячные передачи с цилиндрическим червяком часто используются при создании различного металлообрабатывающего оборудования, например: нажимные механизмы прокатных станов, прессы и т.д. Они находят широкое применение в подъемно-транспортных машинах, в различных приводах, а также при реализации кинематических цепей различного станочного оборудования, особенно там, где требуется высокая кинематическая точность передачи – это делительные устройства механообрабатывающих станков, механизмы их наладки, и т.д.

В настоящее время в связи с активным применением в производстве персональных компьютеров, существует возможность пересмотреть используемые методики расчета

геометрических параметров червячных передач и наладок зубообрабатывающих станков для их формообразования. А именно, заменить приближенные, графические и графоаналитические методы, расчета параметров контактирующих поверхностей элементов червячной передачи, более точными алгоритмами трехмерного компьютерного прототипирования. Создать алгоритмы и методики для сокращения трудоемкости выполнения расчетов, но при этом повысить их точность и сократить предварительные наладочные работы при проектировании и изготовления цилиндрических червячных передач.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Современное развитие машиностроительной промышленности достигло того уровня, при котором разработка технологического процесса для изготовления элементов червячной передачи требует высокой точности соблюдения геометрических параметров ее деталей при их изготовлении. Повышение точности производства машиностроительных изделий вынуждает

инженеров-конструкторов еще на стадии проектирования нового червячного зацепления, а инженеров-технологов – непосредственно на стадии разработки технологического процесса профилирования витков червяка и зубьев червячного колеса, следить в проектируемом зацеплении за каждым микроном при их производстве.

Исследованиям формообразования рабочих поверхностей зубьев зубчатых передач посвящены работы Н.И. Колчина [1], Ф.Л. Литвина [2], М.Г. Сегал [3], А.А. Ляшкова [4–7], В.Ю. Карачаровского и др. Работы этих авторов остаются актуальными и в настоящее время.

Большой вклад в создание и развитие метода расчета пространственных зубчатых зацеплений был сделан Н.И. Колчиным и В.В. Болдыревым, которые изначально применили его к случаю зацепления конических зубчатых колес, а затем и к червячным передачам. Разработанным методом авторам удалось решить задачу в общем случае для червячного зацепления, т.е. с произвольным углом между осями вращения червяка и червячного колеса. Полученное решение оказалось настолько обобщенным, что из него получается частный случай зацепления червячных передач с прямым углом между осями вращения. Из разработанного обобщенного случая червячного зацепления при переходе к предельным значения передаточного числа можно получить случай зацепления червяка с рейкой, который был исследован для эвольвентного червяка Бакингом, а для архимедова червяка – Н.И. Тузевичем.

Теория эвольвентного зацепления описана в работах профессора Х.Ф. Кетова, М.С. Полоцкого и Е.Г. Гинзбурга. В этих работах авторы представили созданные ими методики расчета систем зубчатых колес, нарезанных с применением единого инструмента. Им удалось аналитически обосновать метод нарезания винтовой поверхности цилиндрических колес при помощи червячных фрез и показать его эквивалентность с нарезанием рейкой, соответствующей червяку фрезы.

Большую роль в формировании современных методов расчета и анализа различных видов зубчатых передач сыграл Л.Д. Часовников [8]. Им была разработана методика расчета червячных передач с выпукло-вогнутым профилем у контактирующих поверхностей червяка и червячного колеса.

Значительное влияние на развитие и совершенствование современных численных методов расчета сложных геометрических поверхностей внесли Г.И. Шевелева [9], В.И. Медведев [10]. В их работах, определение обволакивающей поверхности выполняется с помощью разработанного ими метода аппликат, который основан на численном представлении контактирующих поверхностей.

А.А. Ляшковым были разработаны геометрические алгоритмы моделирования винтовых поверхностей при помощи

поверхностного и твердотельного моделирования. Активно развивается и кинематический метод расчета параметров червячных передач [11].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Технические сложные поверхности, применяемые в машиностроении и машиностроительных изделиях, а также в такой области как зубообработка, получаются путем взаимного относительного пространственного движения и взаимодействия между рабочими поверхностями инструмента и заготовки. При этом инструмент является формообразующим элементом, который при пространственном движении и взаимодействии с заготовкой, формирует на ней требуемую поверхность. При компьютерном имитационном моделировании станочного технологического процесса формообразования в качестве результирующей модели получаемой поверхности может выступать огибающая поверхность червячной передачи, которая проходит через все линии касания взаимодействующих рабочих поверхностей инструмента и заготовки. В виду того, что на компьютере нельзя реализовать механизм, имитирующий точную кинематическую связь оборудования станка, то пространственное перемещение происходит дискретно, но с необходимой заданной точностью. Величина, которой является достаточной для точного воспроизведения технологического процесса формообразования элементов червячного зацепления. Это приводит к получению поверхности формообразованной дискретным перемещением производящей поверхности инструмента. Применительно к червячным парам можно говорить о формировании поверхности червяка (или червячной фрезы) путем взаимодействия его заготовки и инструмента эквивалентного зуборезному инструменту дисковая фреза, а для червячного цилиндрического колеса – взаимодействие его заготовки и зуборезного инструмента, эквивалентного червячной фрезы.

Использование методов компьютерного геометрического моделирования для имитации технологического процесса формообразования рабочей поверхности основан на относительном движении взаимопересекающихся объектов в виде системы объектов «заготовка – инструмент». Это позволяет получать необходимую геометрическую модель, точно воспроизводящую геометрическую конфигурацию поверхностей витков червяка и зубьев червячного колеса. Сочетание инструмента – дисковая фреза и цилиндрической заготовки фрезы – позволяет получить модель червячной фрезы; инструмента – червячная фреза и заготовки цилиндрического колеса дает возможность получить модель колеса передачи. Рабочая поверхность червячного колеса должна быть при этом образована производящей поверхностью

инструмента, которая должна быть полностью идентична рабочей поверхности витков червяка. Такое утверждение позволяет использовать модель червячной фрезы, как модель сопряженного цилиндрического червяка.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Производящие поверхности ($\Pi_{ик}$) применяемых инструментов представляют собой поверхности

вращения или винтовые поверхности, которые могут быть образованы соответствующим движением заданного профиля осевого сечения (Π_o) вдоль и/или вокруг соответствующих им осей инструмента (рис. 1). На этом рисунке показан обобщенный алгоритм образования производящей поверхности зуборезного инструмента, который основан на использовании исходного прямолинейного или модифицированного осевого сечения этой поверхности.

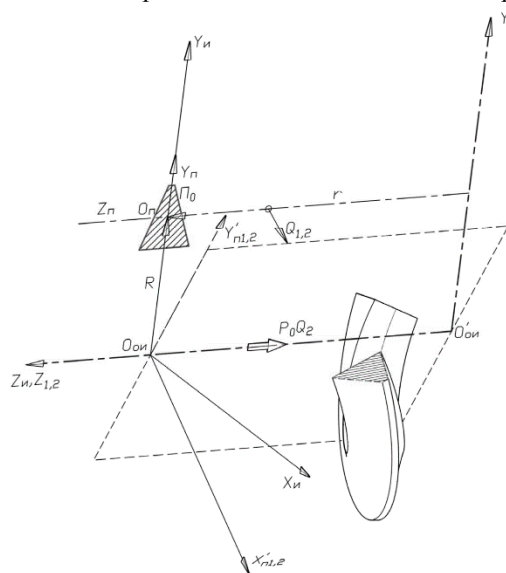


Рис. 1. Геометрическая модель образования обобщенной производящей поверхности:

Fig. 1. Геометрическая модель образования обобщенной производящей поверхности

Данный геометрический алгоритм позволяет получить различные виды зуборезных инструментов, используя сечение производящей поверхности. Координаты точек принадлежащих производящей поверхности инструмента $\bar{R}_m^{(Su)}$ удобно при этом описывать в векторно-матричной форме (1):

$$\bar{R}_m^{(Su)} = H_{S_{ou}S_{oII}} \times \bar{R}_m^{(SoII)}, \quad (1)$$

где $\bar{R}_m^{(SoII)}$ – радиус-вектор осевого профиля исходного или модифицированного производящей поверхности в подвижной системе координат

$$S_{oII}(O_{II}x_{II}y_{II}z_{II}): \\ \bar{R}_m^{(SoII)} = \begin{vmatrix} x_m & y_m & z_m & 1 \end{vmatrix}^T,$$

где x_m, y_m, z_m – координаты точки, принадлежащей сечению производящей поверхности инструмента;

$H_{S_{ou}S_{oII}}$ – блочная матрица, выражающая взаимное движение системы S_{oII} , связанной с осевым профилем производящей поверхности (инструмента), относительно системы S_{ou} задающей ось инструмента:

$$H_{S_{ou}S_{oII}} = \begin{vmatrix} A_{S_{ou}S_{oII}} & r_{oII}^{(s_{ou})} \\ 0 & 1 \end{vmatrix}, \quad (2)$$

где $r_{oII}^{(s_{ou})}$ – радиус-вектор сформированной производящей поверхности в системе координат $S_{ou}(O_{ou}x_u y_u z_u)$;

$A_{S_{ou}S_{oII}}$ – матрица поворота размерностью 3×3 .

Наполнение матрицы $H_{S_{ou}S_{oII}}$ соответствует выбранному типу зуборезного инструмента.

Для аналитического описания координат точек, принадлежащих производящей поверхности зуборезного инструмента «червячная фреза», в матричном выражении (2) необходимо задать следующие параметры:

$$A_{S_{ou}S_{oII}} = \begin{vmatrix} \cos(\theta_2) & \sin(\theta_2) & 0 \\ -\sin(\theta_2) & \cos(\theta_2) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}, \quad (3)$$

$$r_{oII}^{(s_{ou})} = [R \cdot \sin(\theta_2) \quad R \cdot \cos(\theta_2) \quad -p_0 \cdot \theta_2]^T = \begin{bmatrix} R \cdot \sin(\theta_2) \\ R \cdot \cos(\theta_2) \\ -p_0 \cdot \theta_2 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где R – радиус делительной окружности инструмента «червячная фреза»;
 p_0 – параметр движения осевого профиля вдоль оси вращения Z_2 .

Подставляя значения блочной матрицы $A_{S_{ou}S_{oII}}$ (3) и вектора $r_{oII}^{(s_{ou})}$ (4) в формулу (2), получим окончательный вид матрицы для случая «червячная фреза», описывающей поворот радиус-вектора формообразующей поверхности профиля инструмента, в системе координат инструмента:

$$\bar{R}_m^{(Su)} = \begin{vmatrix} \cos(\theta_2) & \sin(\theta_2) & 0 & R \cdot \sin(\theta_2) \\ -\sin(\theta_2) & \cos(\theta_2) & 0 & R \cdot \cos(\theta_2) \\ 0 & 0 & 1 & -p_0 \cdot \theta_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \times \bar{R}_m^{(SoII)},$$

где $\bar{R}_m^{(SoII)}$ – радиус-вектор осевого профиля производящей поверхности зуборезного инструмента «червячная фреза» в подвижной системе координат $S_{oII}(O_{II}x_{II}y_{II}z_{II})$;

θ_2 – угол поворота радиус-вектора $\bar{R}_m^{(SoII)}$.

Выполнив умножение матриц, получаем систему уравнений, которая описывает преобразование координат осевого профиля производящей поверхности из системы координат профиля инструмента $S_{oII}(O_{II}x_{II}y_{II}z_{II})$ в систему координат инструмента «червячная фреза» $(X_2Y_2Z_2)$ в координатной форме:

$$\begin{cases} R_{mX}^{(Su)} = x_m \cdot \cos(\theta_2) + y_m \cdot \sin(\theta_2) + R \cdot \sin(\theta_2) \\ R_{mY}^{(Su)} = -x_m \cdot \sin(\theta_2) + y_m \cdot \cos(\theta_2) + R \cdot \cos(\theta_2), \\ R_{mZ}^{(Su)} = z_m - p_0 \cdot \theta_2 \end{cases} \quad (5)$$

где $R_{mX}^{(Su)}$, $R_{mY}^{(Su)}$, $R_{mZ}^{(Su)}$ – координаты точки принадлежащей производящей поверхности зуборезного инструмента, заданную радиус-вектором $\bar{R}_m^{(SoII)}$ в системе координат этого инструмента;

x_m , y_m , z_m – координаты точек осевого профиля производящей поверхности зуборезного инструмента заданные в системе координат $S_{oII}(O_{II}x_{II}y_{II}z_{II})$.

Полученная система уравнений (5) позволяет определить положение точек принадлежащих производящей поверхности зуборезного инструмента, являющейся эквивалентной производящей поверхности зуборезного инструмента «червячная фреза» при помощи алгоритма представленного на рис. 2. И как результат – компьютерная модель зуборезного инструмента «червячная фреза» (рис. 3).

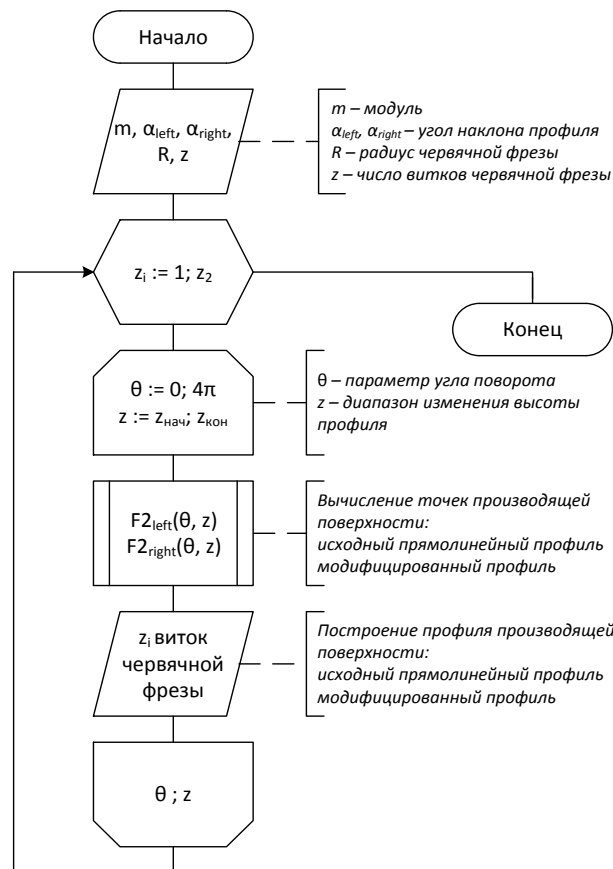


Рис. 2. Алгоритм получения рабочей поверхности червячной фрезы
Fig. 2. Algorithm for obtaining the working surface of the hob cutter

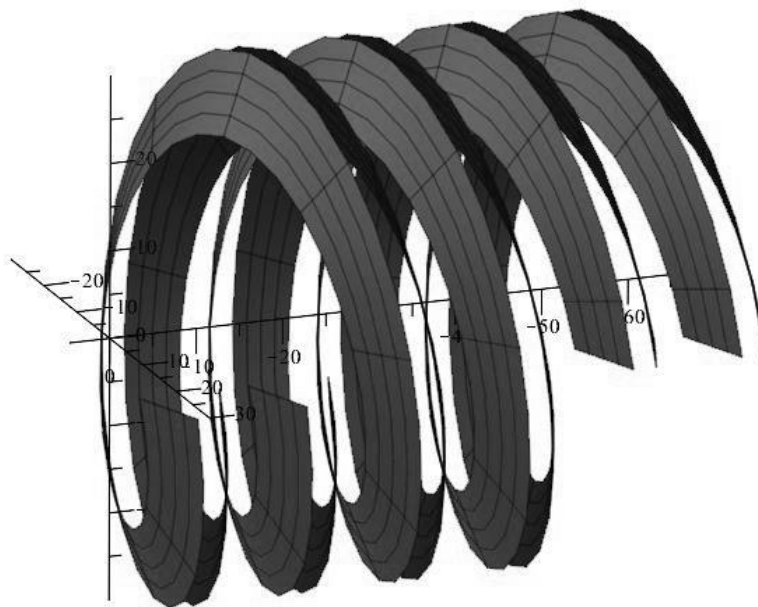


Рис. 3. Модель производящей поверхности зуборезного инструмента «червячная фреза»
Fig. 3. Model of the producing surface of the gear cutting tool "hob cutter"

Для улучшения контактных характеристик взаимодействующих поверхностей используется модифицированная производящая поверхность. Для

ее получения необходимо выполнить изменение исходного (прямолинейного) профиля сечения производящей поверхности P_o :

$$\begin{cases} R_{MX}^{(Su)} = 0 \\ R_{MY}^{(Su)} = \mu \cdot z^2 \cdot \cos(\theta_x) - z \cdot \sin(\theta_x) \\ R_{MY}^{(Su)} = \mu \cdot z^2 \cdot \sin(\theta_x) + z \cos(\theta_x) + \Delta z \end{cases} \quad (6)$$

Выполняя расчеты координат точек модифицированного профиля при помощи системы уравнений (6) на необходимом интервале, происходит формирование набора координат точек для левого и правого профилей модифицированной производящей поверхности:

для левого профиля:

[1,270448002; 0,813086721; 0,457361281;
0,2032716808; 0,0508179208; 0; 0,0460253325;
0,1841013326; 0,4142279992; 0,736405334;
1,150633335];

для правого профиля:

[1,270448002; 0,813086721; 0,457361281;
0,2032716808; 0,0508179208; 0; 0,0460253325;
0,1841013326; 0,4142279992; 0,736405334;
1,150633335].

В соответствии с этими координатами точек можно получить графическое изображение левого и правого профилей производящей поверхности соответственно, что дает возможность получения осевого сечения модифицированной производящей поверхности (рис. 4).

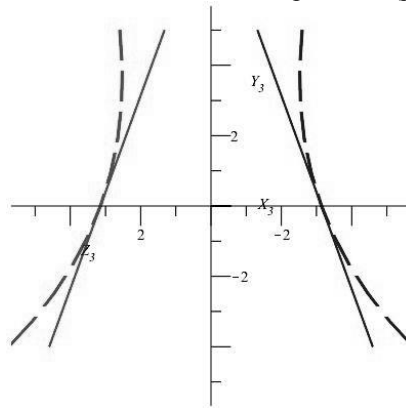


Рис. 4. Модифицированный осевой профиль обобщенной производящей поверхности
Fig. 4. Modified axial profile of the generalized generating surface

Подставив в систему уравнений (5) уравнение (6), которое задает модифицированный профиль, получаем параметрическую форму уравнений модифицированной производящей поверхности, показанную на рис. 5:

$$\begin{cases} R_{MX}^{(Su)} = \sin(\theta_2) \cdot (\mu \cdot z^2 \cdot \cos(\theta_x) \mp z \cdot \sin(\theta_x)) + R \cdot \sin(\theta_2) \\ R_{MY}^{(Su)} = \cos(\theta_2) \cdot (\mu \cdot z^2 \cdot \cos(\theta_x) \mp z \cdot \sin(\theta_x)) + R \cdot \sin(\theta_2) \\ R_{MY}^{(Su)} = -p_0 \cdot \theta_2 + \mu \cdot z^2 \cdot \sin(\theta_x) \pm z \cdot \cos(\theta_x) \pm \Delta z \end{cases}$$

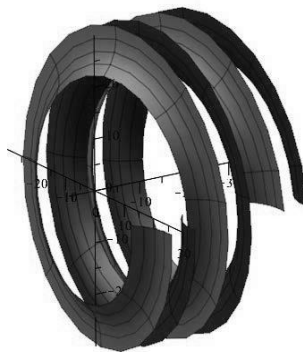


Рис. 5. Модель модифицированной производящей поверхности зуборезного инструмента «червячная фреза»
Fig. 5. Model of the modified generating surface of the gear cutting tool "hob cutter"

Получение поверхностей зубьев методом имитационного твердотельного моделирования основано на виртуальном кинематическом

представлении технологического процесса формообразования в виде взаимоогибания поверхностей одного объекта (инструмента) и

второго объекта (заготовки). Для этой цели были применены методы алгебраической логики в виде геометрического вычитания для удаления части объема заготовки, отсеченной в процессе движения инструмента.

Основным принципом твердотельного моделирования является применение возможностей алгебры множеств, когда рассматриваемая заготовка и инструмент представляются множеством геометрических элементов. В основе алгоритма лежит типовая операция разности множеств:

$$M = M_{\text{заг}} \setminus M_{\text{инстр}}$$

где M – результирующее множество геометрических элементов;

$M_{\text{заг}}$, $M_{\text{инстр}}$ – множества элементов, принадлежащих соответственно нарезаемой заготовке и инструменту.

Результирующее множество элементов M , после каждой операции вычитания, становится новым и заменяет существующее значение для множества $M_{\text{заг}}$. Цикл формообразования повторяется над уже модифицированным набором элементов $M_{\text{заг}}$, что моделирует технологический процесс образования огибающих поверхностей на зубообрабатывающих станках.

Алгоритм геометрического компьютерного имитационного формообразования элементов червячной передачи представлен на рис. 6.

Рассмотрим процесс формообразования зубьев червяка ($j = 1$) и червячного колеса ($j = 2$) с углом скрещивания, который задан в наладочных параметрах алгоритма формообразования.

В блоке 1, осуществляется формирование исходных твердотельных моделей заготовки и инструмента на основе применения процедур геометрического моделирования. Для этого, исходя из геометрических данных чертежа и предварительных расчетов, определяются геометрические характеристики осевых сечений заготовок (блок 1.1) и инструмента (блок 1.2).

Полученные твердотельные модели дисковой фрезы и заготовки червяка или червячной фрезы и заготовки червячного колеса, будут рассматриваться далее как числовые множества. Они размещаются в исходном положении, которое определяется радиальной установкой зуборезного инструмента, технологическими смещениями, угловой и осевой установками заготовки (блок 2).

Алгоритмический блок 3, позволяет задать кинематические зависимости, задающие относительное движение объектов в реализуемом станочном зацеплении. При моделировании традиционной схемы нарезания методом обкатки процесс формообразования задается функциональной взаимосвязью углового вращения заготовки и инструмента.

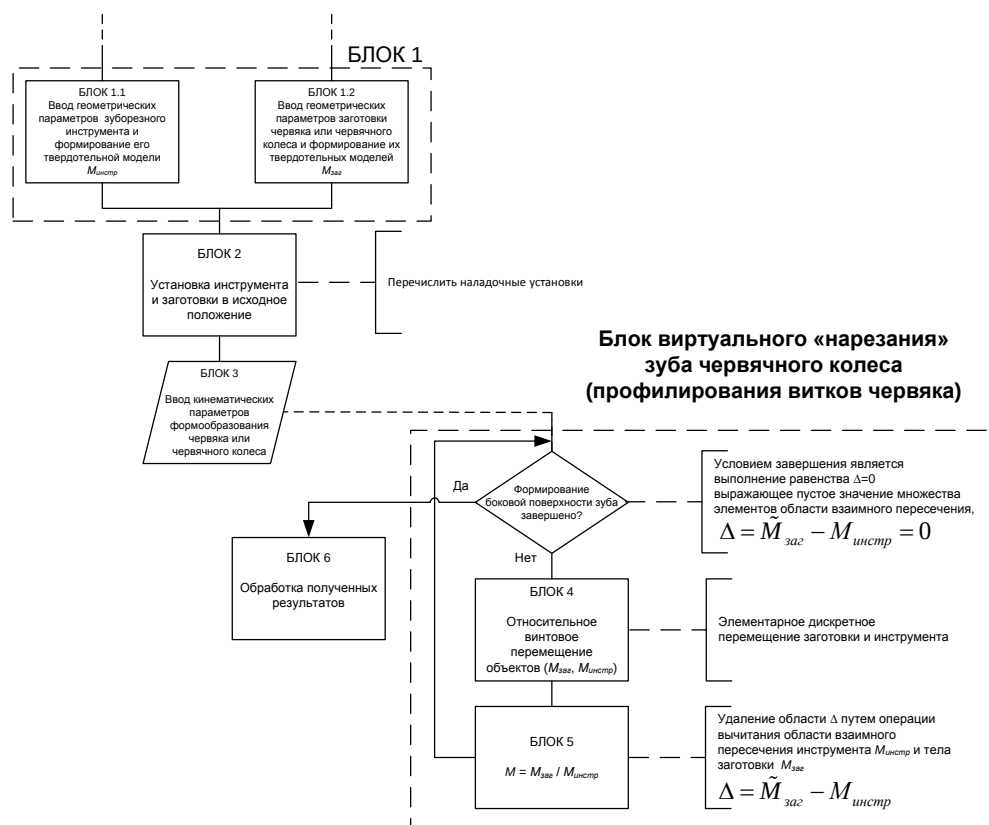


Рис. 6. Алгоритм компьютерного моделирования процесса формообразования рабочих поверхностей элементов червячного зацепления

Fig. 6. Algorithm for computer modeling of the process of shaping the working surfaces of worm gear elements

В алгоритмических блоках 4 и 5 происходит выполнение виртуального имитационного «нарезания» зубьев, основанное на последовательном удалении частей объема заготовки, отсекаемых инструментом, на основе применения булевой операции вычитания тел (в виде геометрического вычитания трехмерных числовых множеств).

После выполнения каждой итерации, взаимодействующим телам сообщаются малые угловые перемещения, изменяющие их относительное положение в соответствии с математическими зависимостями, которые связывают взаимные угловые перемещения геометрических объектов, которые участвуют в виртуальном формообразовании элементов червячной передачи (рис. 7).

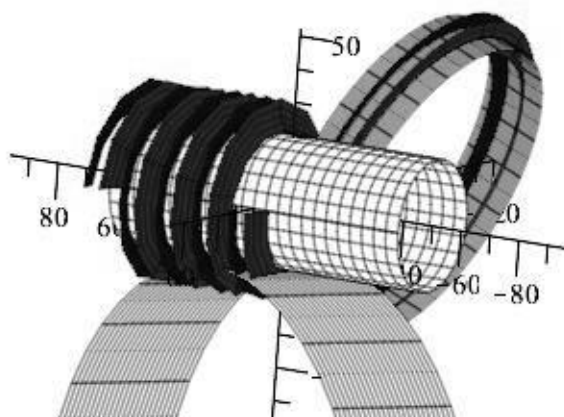


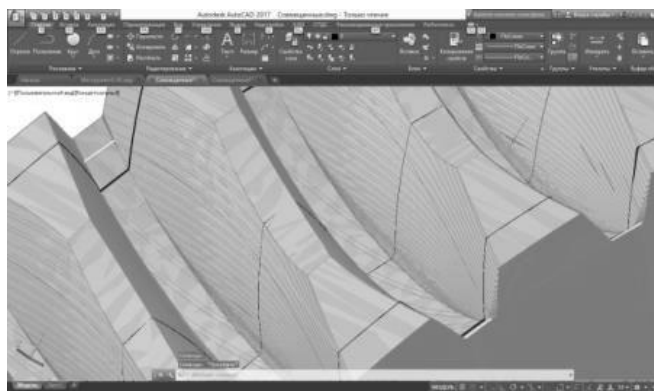
Рис. 7. Геометрическая имитационная модель формообразования элементов червячного зацепления
Fig. 7. Geometric simulation model of shaping of worm gear elements

Описанный алгоритм компьютерного моделирования позволяет сформировать рабочие поверхности цилиндрического червяка или червячной фрезы (рис. 8, а) и цилиндрического

червячного колеса (рис. 8, б), с использованием различных параметров модификации производящей поверхности червячной фрезы.



а)



б)

Рис. 8. Геометрическая модель компонентов червячного зацепления:

а) рабочая поверхность цилиндрического червяка; б) рабочая поверхность цилиндрического червячного колеса

Fig. 8. Geometric model of worm gear components:

а) the working surface of the cylindrical worm; б) the working surface of the cylindrical worm wheel

ВЫВОДЫ

Получены математические зависимости для аналитического описания виртуального цифрового прототипа производящей поверхности зуборезного инструмента «червячная фреза» с возможностью внесения профильной модификации, применение которой позволяет изменить зону контакта рабочих поверхностей цилиндрического червяка и червячного колеса, что приводит к улучшению характеристик зоны контакта зубчатой передачи. Применение цифрового прототипа модифицированной производящей поверхности позволяет выполнять получение виртуального изделия используемого в зубчатой передаче для его дальнейшего прочностного анализа, а также позволяет сократить временные, а соответственно и финансовые затраты.

Применение методов компьютерного геометрического твердотельного моделирования позволяет оставить только один этап подготовки производства нового вида изделия, который можно назвать – геометрический синтез с учетом конфигурации рабочего пространства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колчин, Н. И. Аналитический расчет плоских и пространственных зацеплений / Н.И. Колчин. – М.: Mashgiz, 1949. – 210 с.
2. Литвин, Ф. Л. Теория зубчатых зацеплений : учебник / Ф. Л. Литвин. – М.: Наука, 1968. – 584 с.
3. Лопато, Г. А. Конические и гипоидные передачи с круговыми зубьями. Справочное пособие / Г. А. Лопато, Н. Ф. Кабатов, М. Г. Сегаль. – М.: Машиностроение, 1977. – 423 с.
4. Ляшков, А. А. Геометрическое и компьютерное моделирование профилирования винтовых поверхностей с точечным касанием / А. А. Ляшков, А. В. Зыкина // Вестник СибАДИ. – 2012. – № 4(26). – С. 78-84.
5. Ляшков, А. А. К определению огибающей семейства плоских кривых / А. А. Ляшков // Геометрическое моделирование инженерных объектов и технологических процессов : сб. науч. тр. – Омск, 1999. – С. 48-50.
6. Ляшков, А. А. Компьютерное моделирование процесса формообразования дисковой фрезой деталей с винтовой поверхностью/ А. А. Ляшков // СТИН. – 2012. – № 1. – С. 26-29.
7. Ляшков, А. А. Компьютерные технологии при формообразовании поверхностей деталей / А. А. Ляшков // Омский научный вестник. Серия Приборы, машины и технологии. – 2011. – № 3(103). – С. 10-13.
8. Часовников, Л. Д. Передачи зацеплением: зубчатые и червячные : учебник / Л. Д. Часовников. – М.: Машиностроение, 1969. – 486 с.

9. Шевелева, Г. И. Теория формообразования и контакта движущихся тел : монография / Г. И. Шевелева. – М.: Мосстанкин, 1999. – 494 с.

10. Медведев, В. И. Комплекс программ для диалогового подбора технологических и конструктивных параметров гипоидных и конических пар с круговыми зубьями / В. И. Медведев // Конструкторско-технологическая информатика 2000 : IV междунар. конгресс : в 2 т. – М.: «СТАНКИН», 2000. – Т. 2. – С. 51-54.

11. Сандлер А. И. Производство червячных передач [Текст] / А.И. Сандлер, С. А. Лагутин, А. В. Верховский; под общ. ред. С. А. Лагутина. Москва: Машиностроение, 2008. — 272 с.

REFERENCES

1. Kolchin, N. I. Analytical calculation of plane and spatial engagement / N. I. Kolchin. - M.: Mashgiz, 1949. - 210 p.
2. Litvin, F. L. Theory of gearing: textbook / F. L. Litvin. - M.: Nauka, 1968. - 584 p.
3. Lopato, G. A. Conical and hypoid gears with circular teeth. Reference book / G. A. Lopato, N. F. Kabatov, M. G. Segal. - M.: Mechanical Engineering, 1977. - 423 p.
4. Lyashkov, A. A. Geometric and computer modeling of profiling of helical surfaces with point contact / A. A. Lyashkov, A. V. Zykina // Bulletin of SibADI. - 2012. - No. 4 (26). - S. 78-84.
5. Lyashkov, A. A. To the definition of the envelope of a family of plane curves / A. A. Lyashkov // Geometric modeling of engineering objects and technological processes: collection of articles. scientific. tr. - Omsk, 1999. - S. 48-50.
6. Lyashkov, A. A. Computer modeling of the process of shaping of parts with a screw surface by a disk mill / A. A. Lyashkov // STIN. - 2012. - No. 1. - S. 26-29.
7. Lyashkov, A. A. Computer technologies for shaping the surfaces of parts / A. A. Lyashkov // Omsk Scientific Bulletin. Series Devices, machines and technologies. - 2011. - No. 3 (103). - S. 10-13.
8. Chasovnikov, L. D. Gearing gearing: gear and worm: textbook / L. D. Chasovnikov. - M.: Mechanical Engineering, 1969. - 486 p.
9. Sheveleva, G. I. Theory of shaping and contact of moving bodies: monograph / G. I. Sheveleva. - M.: Mosstankin, 1999. - 494 p.
10. Medvedev, V. I. Complex of programs for the dialogue selection of technological and design parameters of hypoid and conical pairs with circular teeth / V. I. Medvedev // Design and technological informatics 2000: IV international. Congress: in 2 volumes - M.: "STANKIN", 2000. - T. 2. - S. 51-54.
11. Sandler A. I. Production of worm gears [Text] / A. I. Sandler, S. A. Lagutin, A. V. Verkhovsky; under total. ed. S. A. Lagutina. Moscow: Mechanical Engineering, 2008. - 272 p.

FORMATION OF WORKING SURFACES OF A WORM WHEEL AND A WORM WITH A TOOTH-CUTTING TOOL WITH A MODIFIED PRODUCING SURFACE BY THE METHOD OF COMPUTER SIMULATION

Ryazanov ¹ S.A., Reshetnikov ² M.K., Shpilev ³ V.V.

^{1, 2, 3} Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Address: Saratov, st. Polytechnic, 77

¹ despro@mail.ru; ² graphic@sstu.ru; ³ vasya-shpilev@rambler.ru

Summary: substantiated the relevance of theoretical studies on the use of modern CAD systems, which make it possible to move away from the analytical description of interacting surfaces and focus on the implementation of algorithms for their interaction. The use of geometric modeling tools for virtual imitation cutting of elements involved in the formation of a worm pair is shown. The use of a modified generating surface is shown to introduce errors that inevitably arise when trying to form and use a real worm pair.

Subject of research: geometric and computer kinematic modeling of the process of forming cylindrical worm gears.

Materials and methods: the article is written on the basis of studying the materials of scientific articles, available electronic resources; the article uses methods of analytical geometry and algorithms for geometric computer modeling.

Results: application of methods of computer geometric solid modeling allows leaving only one stage of preparation for production of a new mechanical engineering product, which can be called geometric synthesis, taking into account the configuration of the working space.

Conclusions: on the basis of the studied sources, a geometric model of the generating surface for shaping the elements of a worm pair with a modified working profile is presented.

Key words: 3D modeling, solid modeling, gears, worm gear, gear cutting tool, modified manufacturing surface.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Муровский С.П.

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь, Российская Федерация, murovski@inbox.ru

Аннотация. В работе рассмотрены пути повышения эффективности комбинированных систем электроснабжения удаленных объектов на базе возобновляемых источников энергии. Разработанное схемное решение комбинированного электроснабжения удаленных объектов на базе мини-ГЭС, ГТ и термоэлектрических генераторов, установленных на газоотводной трубе котла, позволит перераспределять энергию между потребителями внутри объекта или накапливать ее в системе электрохимического аккумулирования в период минимального потребления.

Ключевые слова: электроснабжение, мини-ГЭС, термоэлектрический генератор, комбинированные системы электроснабжения, ресурсосбережение, Крым

ВВЕДЕНИЕ

Территория Республики Крым имеет достаточно разнообразный рельеф местности. Большое количество площади полуострова занимают возвышенности и горные массивы. Следовательно, поставлять бесперебойно электроэнергию удаленным потребителям не всегда является возможным или влечет за собой большое количество затрат. Выход из данной ситуации очевиден: децентрализованное генерирование электричества непосредственно на объектах при помощи использования установок на базе возобновляемой энергетики (ВИЭ). Учитывая сложившуюся ситуацию в энергопроизводстве и состоянии электросетей, можно прийти к выводу о необходимости развития в Крыму собственных производственных мощностей и разработки инновационных решений на базе ВИЭ, которые бы повысили уровень надежности электроснабжения потребителей. Одним из направлений развития собственной генерации является установка мини-ГЭС в комплексе с другим источником электрогенерации вблизи удаленных объектов [1].

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Одним из факторов, от которого зависит энергосистема Крыма, является изношенное состояние линий электропередач (ЛЭП) и оборудования, установленное на электроэнергетических объектах. Большая часть электрических сетей на полуострове были проложены в 30-х – 40-х годах прошлого века. По проекту ЛЭП проектируются с учетом перспективного развития на ближайшие 10 лет. В случае современного развития труднодоступного объекта, запланированной добавочной мощности может не хватить. Так же следует принять во внимание то, что в среднем срок службы ЛЭП составляет около 50 лет и вскоре это оборудование потребует капитального ремонта. Следовательно, потери в таких сетях довольно высоки за счет токов

утечки и повышенной короны, что делает передачу электроэнергии по ним экономически не целесообразной. На данный момент Крым является развивающимся регионом с большим количеством новых объектов, требующих больших энергозатрат, следовательно, дефицит собственных мощностей неизбежен, а низкая эффективность передачи энергии лишь ухудшает ситуацию [2].

Согласно закону Республики Крым [3] необходимо повышать энергосбережение и энергетическую эффективность региона. Полная реконструкция устаревших сетей является слишком дорогим и трудоёмким мероприятием в случае труднодоступности объекта. Для временных объектов, таких как стройка, нет смысла тянуть отдельную линию электропередач, так как вполне вероятно, что проект энергопотребления изменится и в уже протянутую линию придется вносить дорогостоящие изменения. Для долгосрочных объектов, таких как удалённый жилой объект или небольшое поселение, не всегда экономически выгодно строить новую ЛЭП. Объект может находиться в географически трудном месте (горный ландшафт), обладать агрессивными факторами окружающей среды (солёный воздух побережья), неблагоприятным климатом, что сильно повышают удельную стоимость ЛЭП.

Одним из направлений развития собственной генерации является установка мини – ГЭС на реках вблизи жилых домов или поселений. На рис. 1. приведена принципиальная схема мини – ГЭС [4]. Малая гидроэнергетика является, несомненно, одной из наиболее развитых областей энергетики на возобновляемых ресурсах. Вырабатываемую гидроэлектростанциями энергию очень легко регулировать, что очень важно при их использовании в энергосистемах с большими колебаниями нагрузки. Гидроэлектростанции и их оборудование имеет свойство высокой надежности и работоспособности. Оно заключается в том, что составляющие их элементы используются очень долго, турбины, как правило, имеют срок эксплуатации более 50 лет.

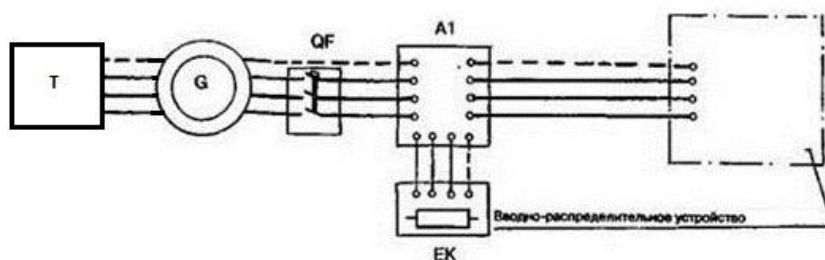


Рис. 1. Принципиальная схема мини-ГЭС: Т – гидротурбина; G – генератор; QF – выключатель автоматический; A1 – блок системы регулирования; ЕК – балластная нагрузка

Fig. 1. Schematic diagram of mini-hydroelectric power station: T - hydro turbine; G - generator; QF - automatic switch; A1 - control system block; ЕК - ballast load

Это объясняется условиями их эксплуатации: равномерный режим работы при отсутствии экстремальных температурных и других нагрузок. Вследствие перечисленных факторов стоимость вырабатываемой на гидроэлектростанциях электроэнергии низка и многие из них работают с достаточно высоким экономическим эффектом. КПД гидротурбин варьируется в пределах 85 - 90%. По своему назначению они бывают двух типов: реактивные гидротурбины – рабочее колесо которых полностью погружено в воду и вращается в основном за счет разности давлений до и за колесом; активные гидротурбины – рабочее колесо которых вращается в воздухе натекающим на его лопасти потоком воды, т.е. кинетической энергией этого потока [4].

Гидроэлектростанции малой мощности обладают целым рядом преимуществ, которые делают это оборудование все более популярным. Прежде всего, стоит отметить экологическую безопасность мини-ГЭС – критерий, который становится все более важным в свете проблем защиты окружающей среды. Малые гидроэлектростанции не оказывают вредного влияния ни на свойства, ни на качество проходящей воды. Кроме того, для работы мини-ГЭС нет необходимости в наличии больших водоемов. Они могут работать, используя энергию течения небольших рек и даже ручьев. Дополнительными преимуществами мини-ГЭС являются возможность

работы в автоматическом режиме без обслуживающего персонала [1].

В Крыму наиболее перспективными в гидроэнергетическом плане, являются реки: Коккозка, Альма, Кача, Черная и Бельбек. Данные водотоки преимущественно находятся в горной местности, следовательно, в случае отсутствия достаточного напора, есть возможность создания деривационной ГЭС, их особенностью является наличие напорного бассейна, который позволяет подавать на турбину поток воды с постоянным напором и расходом для получения необходимых параметров водотока. Расход данных рек в среднем от 1 до 2 м³/с, что достаточно для создания достаточно мощных деривационных мини-ГЭС [5]. Их особенностью является наличие напорного бассейна, который позволяет подавать на турбину поток воды с постоянным напором и расходом. В случае малых потребляемых мощностей достаточно установить несколько гидротурбин в русле реки на определенном расстоянии друг от друга таким образом, чтобы турбина не занимала все русло реки. Если же требуются достаточно большие мощности, деривационная мини-ГЭС приобретает больший смысл.

Установка мини-ГЭС на реках, которые расположены вблизи жилого объекта позволит использовать избыточную энергию воды путем генерации электроэнергии для собственных нужд и запасании избыточной энергии в аккумуляторе через контролер заряда (рис. 2).

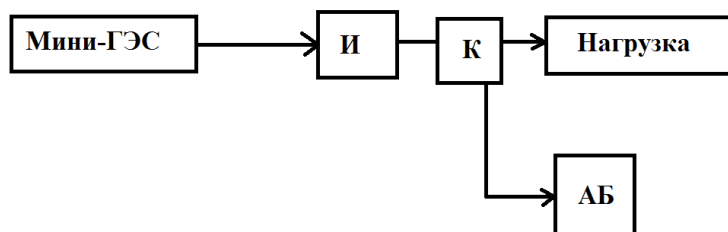


Рис. 2. Блок схема электроснабжения жилого дома на базе мини – ГЭС и аккумулирующего устройства

Fig. 2. Block diagram of the power supply of a residential building based on a mini-hydroelectric power station and a storage device

Мини – ГЭС будет является основным источником электроэнергии в неотапительный период. На время отопительного сезона рассматривается комбинированная система для

генерации электрической энергии, которая включает в себя термоэлектрический генератор (ТЭГ), установленный на газоотводящей трубе действующего котла и гидротурбину,

установленную в контуре циркуляции теплоносителя котла.

ТЭГ – устройство, которое позволяет генерировать собственную электрическую энергию, принцип его работы основан на преобразования тепловой энергии в электричество посредством использования в его конструкции термоэлементов

(термоэлектрических материалов). Весь функционал данного элемента заключается в эффекте образования электрического тока путем охлаждения и нагревания пластины модуля Пельтье (рис. 3). В наше время этот термоэлектрический эффект нашел широкое применение в различных сферах и отраслях электроники [6].

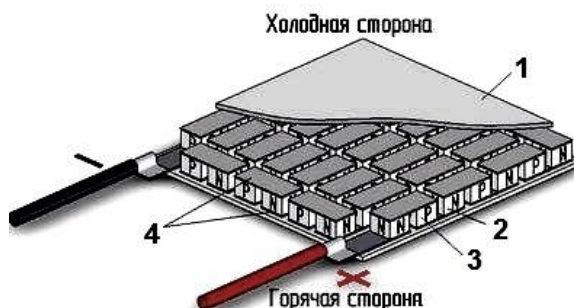


Рис. 3. Модуль элемента Пельтье: 1 - изолятор керамический; 2 - проводник «n – типа»; 3 - проводник «р – типа»; 4 - проводник медный

Fig. 3. Peltier element module: 1 - ceramic insulator; 2 - "n - type" conductor; 3 - "p - type" conductor; 4 - copper conductor

Необходимым условием подобных энергопроектов является установка запасавших электрическую энергию устройств. В работе проведен расчет и подбор аккумулирующего оборудования. Оно будет установлено с целью запасания электрической энергии, вырабатываемой за счет всех генераторов электричества. С аккумулирующих устройств, после преобразования, электроэнергия будет подаваться для питания потребителей всего объекта. В момент, пиковой нагрузки используется запасенная энергия для электропитания потребителей дома. Таким образом можно избежать дополнительной генерации энергии за счет резервных источников или питающей линии. Однако, на практике нельзя допускать разряда аккумулятора более чем на 80%

от запасенной энергии, в противном случае он может выйти из строя [7].

Результатом вышеизложенного стал усовершенствованный проект автономного электроснабжения жилого дома, расположенного вблизи реки, который заключается в установке ТЭГ на дымоходе от котла, гидротурбины (ГТ) в контуре циркуляции теплоносителя котла и установке более мощных гидроагрегатов на русле протекающей речки. Предложенное схемное решение (рис. 4), в ходе его реализации, окажет положительный эффект на экономическую и экологическую сторону данного проекта, позволит приобрести большую независимость и автономию от центральной электрической сети, позволит экономить природные ресурсы, что актуально в плане реализации государственной программы по энергосбережению.

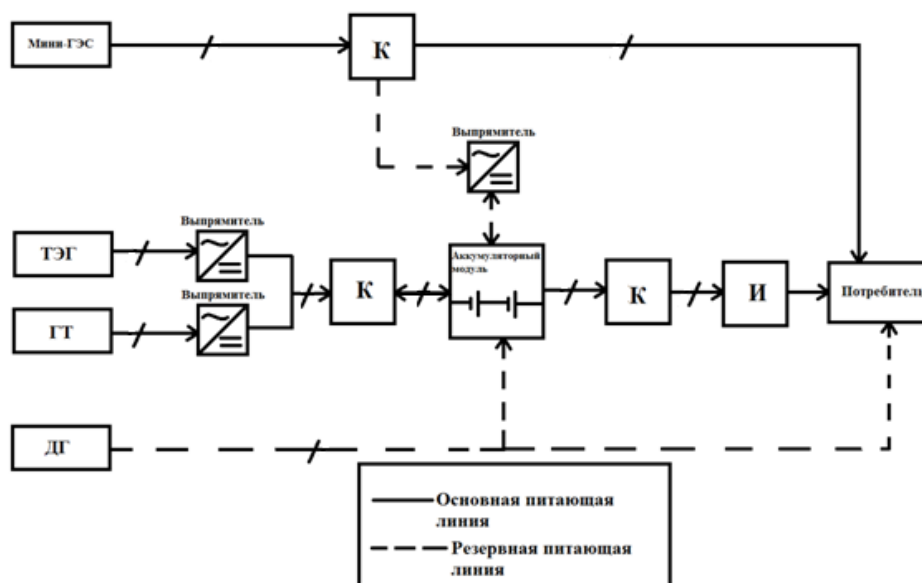


Рис. 4. Предлагаемая комбинированная система автономного электроснабжения объекта
Fig. 4. The proposed combined system of autonomous power supply of the facility

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

Целью данной работы является оценка возможности установки комбинированного энергетического комплекса, на базе гидротурбин и термоэлектрогенератора, для обеспечения автономного электроснабжения объекта. Так же возможность и целесообразность установки мини-ГЭС на полноводной реке, расположенной вблизи объекта, обеспечивающих генерацию электроэнергии для собственных нужд за счет избыточной энергии проходящей воды, с учетом климатических и рельефных особенностей, имеющегося специализированного оборудования на энергорынке Крыма и оценке экономического эффекта от внедрения энергосберегающей комбинированной энергосистемы.

Для разработки технических решений по повышению энергоэффективности систем автономного электроснабжения, направленных на внедрение ресурсосберегающих технологий, с целью снижения потребления органических видов топлив, а именно применение мини-ГЭС и ТЭГ, был

проведен анализ гидрологических параметров горных рек Крыма по данным многолетних наблюдений; обоснован выбор рациональной конструкции мини-ГЭС и ТЭГ с учетом особенности территории размещения объекта. Учитывая требования государственной программы по энергосбережению традиционных энергоносителей, предлагаемые технические решения являются весьма актуальными для автономного электроснабжения удаленных объектов Крымского региона.

В качестве объекта для разработки технических решений автономного электроснабжения удаленного объекта был выбран двухэтажный частный дом в селе Счастливое, расположенном в верховьях долины р. Бельбек у западного подножья хребта Ай-Петри [8]. Существующая ЛЭП, подходящая к селу, сильно изношена, основная магистраль идет в горной местности с резкими перепадами высот, более 100 м, следовательно, объект является труднодоступным. Местоположение объекта на топографической карте местности показано на рис. 5 [9].

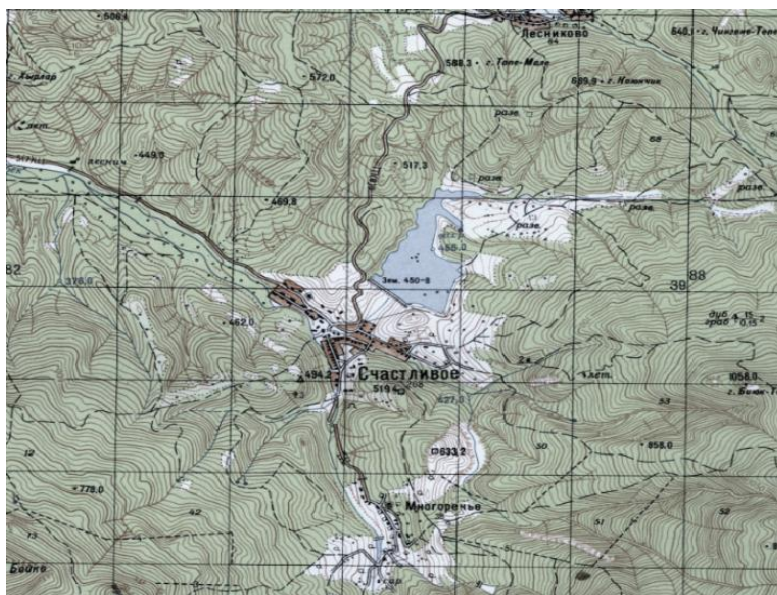


Рис. 5. Топографическая карта местности объекта (с. Счастливое)

Fig. 5. Topographic map of the site (Schaslyve village)

В работе рассмотрены возможности резервации энерго мощностей и внедрения энергосберегающих мероприятий, направленных на экономию потребления традиционных энергоресурсов с учетом перспективного развития энергозатрат объекта.

Для достижения поставленных целей были решены следующие задачи:

- проанализировано состояние энергопотребления объекта и выявлены проблемы состояния инженерных сетей, приводящие к увеличению энергопотребления и проведен расчет электропотребления с учетом перспективного развития энергоснабжения выбранного объекта;

- рассмотрены варианты внедрения современных технологий в автономном производстве электрической энергии, а также применение электрогенерирующих систем на базе ВИЭ с учетом специфики объекта способствующих энергосбережению и уменьшению потребления традиционных энергоносителей;

- на примере автономного электроснабжения объекта разработан проект с применением современных технологий, энергосберегающих мероприятий и использования оборудования на базе ВИЭ, спроектирована функциональная схема комплексного распределения электроэнергии труднодоступного объекта;

-проведен эксперимент и расчет предлагаемой комбинированной системы с целью понимания эффективности и экономической выгоды реализации проекта.

Расчет и подбор оборудования, которое будет установлено на объекте является одним из главных пунктов всего проекта. Именно от выбранного оборудования зависит эффективность работы и его экономическая составляющая. Для проверки работоспособности предлагаемого автономного комплекса был разработан макет гидротурбины, который позволил оценить работу и пропускную способность гидроколеса. В данной установке было

использовано в качестве основного механизма ковшовая турбина Пелтона. На данный гидроагрегат подавался напор, пропорциональный реальному напору р. Бельбек. Благодаря раскрутке колеса была снята вольт-амперная характеристика (ВАХ) и проведен расчет вырабатываемой мощности. Расчеты показали, что при таком напоре воды данная турбина работает не эффективно, следовательно, необходима турбина реактивного типа для проектируемого энергокомплекса в качестве основного электрогенерирующего объекта, сравнительная ВАХ гидротурбин представлена на рис. 6 [10].

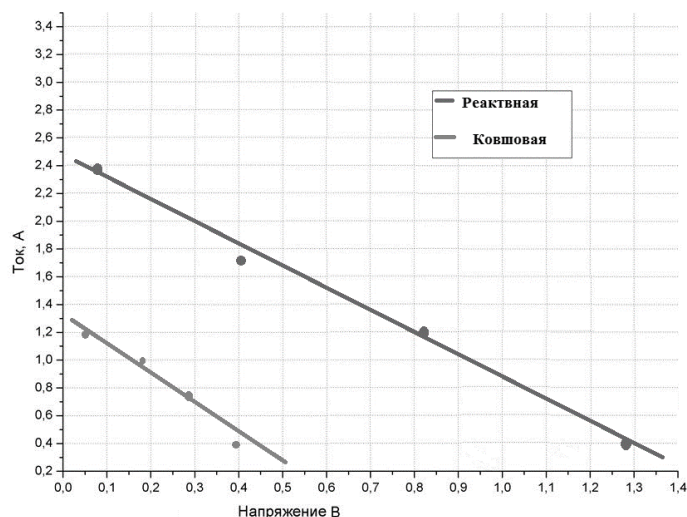


Рис. 6. Сравнительная ВАХ гидротурбин различного типа в составе энергокомплекса

Fig. 6. Comparative I - V characteristic of hydraulic turbines of various types as part of a power complex

Был проведен эксперимент с элементами Пельтье (рис. 7). На металлическую трубу дымохода были закреплены элементы Пельтье, с целью обеспечения хорошего теплового контакта применялась термопаста.



Рис. 7. Внешний вид одного элемента Пельтье

Fig. 7. Appearance of one Peltier element

Элементы были соединены последовательно для выработки требуемого напряжения. Внутри металлической трубы находился нагревательный элемент, который имитировал температурный поток газа, отходящего от котла. Для чистоты эксперимента внутри трубы поддерживалась постоянная температура, соответствующая температуре отходящих газов котла, результаты эксперимента представлены на рис. 8. Согласно

методике расчета и исходя из размеров дымоходной трубы, было рассчитано, что для данного проекта потребуется 24 одинаковых блоков элементов Пельтье [11], которые будут вырабатывать электроэнергию и подавать её на заряд АБ. Суммарная генерируемая мощность составит 1,4 кВт, что позволит обеспечить до 30% от всей требуемой электроэнергии.

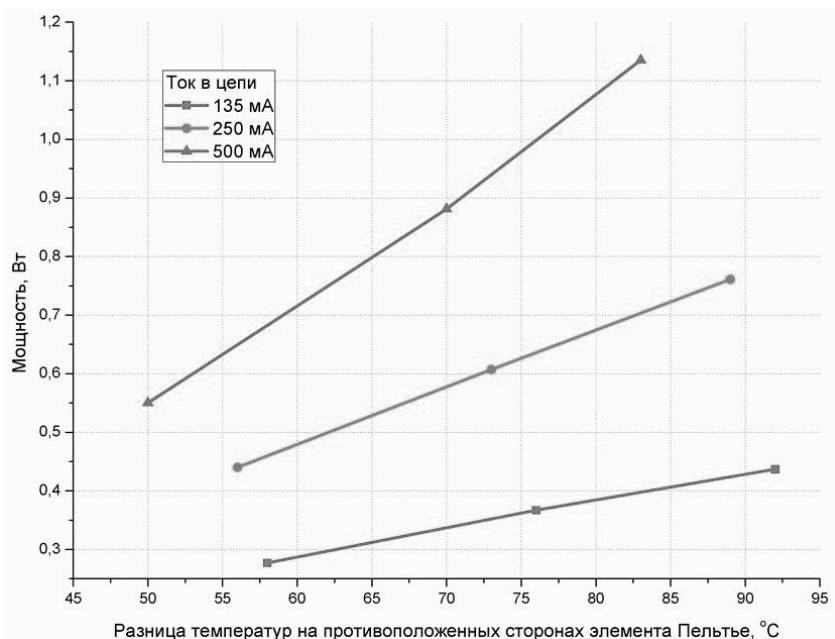


Рис. 8. Зависимость вырабатываемой мощности исследуемого элемента Пельтье от разности температур
Fig. 8. Dependence of the generated power of the investigated Peltier element on the temperature difference

Для установки в контуре циркуляции теплоносителя котла подходит гидротурбина ГА 2 (рис. 9). Проведенные расчеты по оценке вырабатываемой электрической мощности на рассмотренной ГА 2, показали, что в схему необходимо включить 8 одинаковых агрегатов.

Расчетный КИУМ показал значение 0,51, что для гидроагрегатов такого типа считается удовлетворительным. Исходя из произведенных расчетов можно сделать вывод, что для данного объекта подобранные турбины являются эффективными.



Рис. 9. Внешний вид гидротурбины ГА 2
Fig. 9. External view of the GA 2 turbine

Последующие расчеты показали, что вырабатываемой мощности элементов Пельтье хватит на 70% заряда АБ, остальные 30% будут добираться за счет работы 8 гидротурбин, установленных в контуре циркуляции теплоносителя. Входе эксперимента было установлено, что данный проект имеет право на существование и может быть применен в практических целях.

Для расчета основной турбины выбрана гидроустановка типа РО15-40. Подобные

гидротурбины установлены на мини-ГЭС на о. Парамушир. Данные турбины реактивные с регулируемым поворотным направляющим аппаратом, обеспечивающим устойчивую работу в диапазоне напоров 12-28 метров при колебании расходов от 0,4 до 1,3 м³/с [10]. По результатам расчета была построена графическая зависимость выработки электрической мощности гидротурбины от подаваемых на неё расхода и напора водотока. Полученный график представлен на рис. 10.

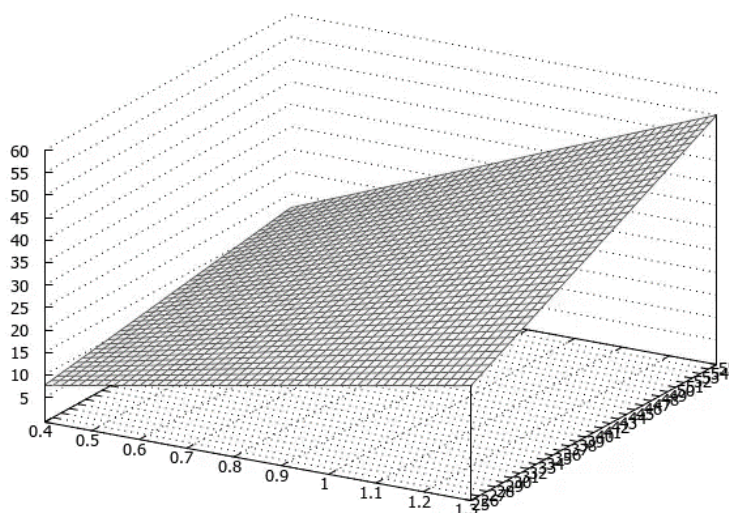


Рис. 10. График выработки гидротурбины PO15-40
Fig. 10. Schedule of the output of the hydraulic turbine PO15-40

Исходя из построенного графика (рис. 10) определяем генерируемую электрическую мощность турбины $P_{эл}$ с учетом технологических нужд станции и рассчитываем КИУМ. Рассчитанный КИУМ составил 0,58, что приемлемо для турбин такого типа.

В ходе разработки комбинированной энергоустановки, включающей в себя ТЭГ и гидроагрегаты на циркуляции теплоносителя, появилась необходимость автоматического включения и переключения заряда АБ от ТЭГ и ГТ. Был разработан автоматический контроллер, который переключает заряд АБ от ТЭГ и гидроагрегатов. Блок управления (рис. 11) выполнен на базе микроконтроллера и имеет переключатель настройки выходного напряжения в зависимости от поступающего входного, от ТЭГ или ГТ, вывод первого термоэлектрического модуля и вывод последнего термоэлектрического модуля

соединены через блок реле с входами силового блока в котором формируется выходное напряжение устройства, аналогично происходит переключение выхода ГТ через блок реле на вход силового блока.

Разработанная комбинированная система автономного электроснабжения (КСАЭС) работает следующим образом. Источники генерации электроэнергии на базе мини-ГЭС с однофазным генератором обеспечивают потребителя электроэнергией с требуемыми параметрами. При выработке мощности на генерирующих станциях больше потребления объектом, избыток электроэнергии идет на заряд АБ, которые разряжаются при недостатке мощности выработки на источниках генерации, компенсируя недостающую мощность потребления объекта.

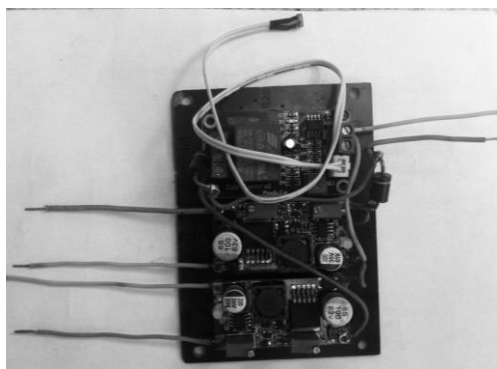


Рис. 11. Блок управления комбинированной системы энергоснабжения
Fig. 11. Control unit for combined power supply system

Главной чертой данного комплекса является наличие внешнего источника генерации электроэнергии на базе ВИЭ, подключенного к шинам питания потребителя электроэнергии (рис. 12). В проекте предусмотрен объем автоматизации,

который обеспечивает оптимальный режим энергоснабжения удаленного объекта, экономию материальных и энергетических ресурсов, обеспечение условий для обслуживания технологического оборудования.

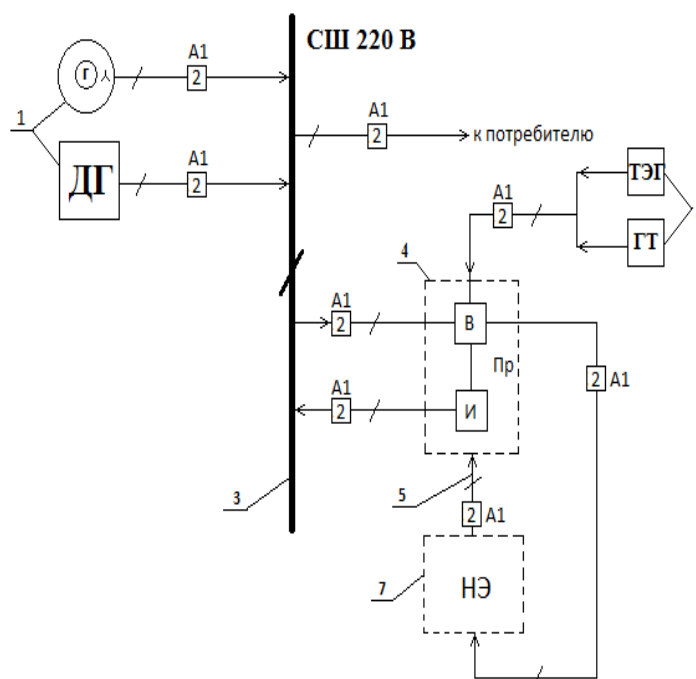


Рис. 12. Схемное решение децентрализованного энергоснабжения удаленного объекта в составе мини-ГЭС, ТЭГ и ГТ:
 1- электрогенерирующие устройства; 2 - контроллеры; 3 - система шин; 4 - преобразователь; 5 - питающая линия
Fig. 12. Schematic solution of decentralized power supply of a remote facility as a part of mini-hydroelectric power plants, TEG and GT: 1- power generating devices; 2 - controllers; 3 - bus system; 4 - converter; 5 - supply line

Техническим результатом является расширение области применения автономной системы электроснабжения, связанной с обеспечением потребителя электроэнергией требуемого параметра, снижение энергозатрат и повышение быстродействия системы на переходных режимах, повышение надежности и эксплуатационных характеристик.

В альтернативной энергетике большинство проектов носят инвестиционный характер. Это означает, что получение прибыли и вложение капитала происходят не одновременно. В случае частных проектов, направленных на автономизацию электроснабжения, цель которых – обеспечить электричеством жилой объект, не прибегая к подключению центральной энергосети, это означает, что окупаемость объекта не является основной задачей данного проекта. Следовательно, в данной разработке будет целесообразно рассчитать примерную экономию от производства собственной электрической энергии. Фактор времени и коэффициент инфляции в данной работе не учитывается. Применена упрощенная смета капитальных затрат на создание автономной энергоустановки, затраты на монтаж приняты равными 15% от стоимости всей установки. Суммарные затраты составили 490762 руб. Для определения экономии за счет генерации собственной электроэнергии достаточно знать потребление объекта и цену на электроэнергию, в расчетный период она составила 4,15 руб./кВт·ч. Следовательно, экономия в год составит, примерно 8000 руб.

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрена возможность внедрения перспективных технологий на базе ВИЭ для децентрализованного электроснабжения удаленных объектов, которые позволяют существенно снизить потребление традиционных энергоресурсов и экономить денежные средства при оплате услуг за электрическую энергию.

2. Проведен расчет системы энергопотребления объекта, с учетом возможного перспективного развития, выбраны и рассчитаны с применением математического моделирования наиболее эффективные электрогенерирующие агрегаты для данного объекта, разработаны преобразовательные устройства для обеспечения качественной электроэнергии объекта.

3. Проведенные расчеты показали, что разработанная КСАЭС является эффективной, позволит обеспечить электроэнергией дом с пиковой нагрузкой - 3,6 кВт. Генерация электроэнергии от мини – ГЭС составит 3,6 кВт при работе в нормальном режиме, 4,2 кВт в максимальном режиме, а от ТЭГ и ГТ в контуре котла - 1,6 кВт. Экономия электроэнергии от центральных сетей в течении года составит 8000 руб.

4. Проведенные мероприятия по снижению электропотребления жилого дома позволят в полной мере реализовать комплекс мер по повышению энергоэффективности и энергосбережению, что является актуальной задачей для энергодефицитного Крымского полуострова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курзо А.Н. Система автономного электроснабжения удаленных потребителей на базе возобновляемых источников энергии / А.Н. Курзо, С.П. Муровский // Сборник статей Международной научно-практической конференции «Успехи современной науки» (Белгород, 25.03.2017 г.). – Белгород: «Эпицентр», 2017. – С. 54-58.
2. Муровская А.С. Внедрение новых схемных решений в систему электроснабжения жилых объектов Крыма/А.С. Муровская // Строительство и техногенная безопасность. - 2018. - № 63.- С.109-117.
3. Закон Республики Крым «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности в Республике Крым» №77 – ЗРК от 28.01.2015 г. / Правительство Республики Крым. – Крым, 2015. – 19 с.
4. Андреев А.Е., Бляшко Я.И., Елистратов В.В., Кубышкин Л.И., Кудряшова И.Г. и др. Гидроэлектростанции малой мощности: Учеб. Пособие / Под. ред. Елистратова В.В. Спб.: Изд-во Политех. ун-та. - 2005. - 432 с.
5. Поверхностные водные объекты Крыма. Справочник. - Симферополь: Рескомводхоз АРК, 2004. – 113 с.
6. Гершберг И.А. Выбор оптимального ТЭМ в зависимости от условий внешнего теплообмена / И.А. Гершберг // Термоэлектрики и их применения. Доклады IX Межгосударственного семинара. – СПб., 2004. – С. 70-47.
7. Асанов М.М. Повышение эффективности и надежности работы возобновляемых источников путем аккумулирования генерируемой ими энергии / М.М. Асанов, Э.А. Бекиров // Строительство и техногенная безопасность. - 2017. - № 60. - С. 75-80.
8. Олиферов А.Н. «Гидроэнергетическая мощность рек Крыма»// Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского// серия «География» том 26(65).- 2013.- С.243-245.
9. Электронный ресурс: // <https://crimeaz.ru/vodoemy-kruma/> / Счастливенское водохранилище (Крым).
10. Муровский С.П. Внедрение ресурсосберегающих технологий в систему электроснабжения промышленных предприятий/ С.П. Муровский, В.О. Купленный, Б.И. Тараненко // Строительство и техногенная безопасность. - 2017. - № 60. - С. 97-103.
11. Тахистов Ф.Ю. Расчет параметров термоэлектрических модулей с учетом температурных зависимостей термоэлектрических свойств // Термоэлектрики и их применения.- СПб.: ФТИ, 2002.- 175 с.

WAYS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF POWER SUPPLY TO REMOTE OBJECTS

Murovsky S.P.

V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation, murovski@inbox.ru

Summary: The paper considers ways to improve the efficiency of combined power supply systems for remote facilities based on renewable energy sources. The developed circuit solution for the combined power supply of remote facilities based on mini-hydroelectric power plants, GT and thermoelectric generators installed on the boiler's gas outlet pipe will allow redistributing energy between consumers inside the facility or storing it in the electrochemical storage system during the period of minimum consumption.

Key words: power supply, mini-HPP, thermoelectric generator, combined power supply systems, resource saving, Crimea

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В ЭНЕРГОУСТАНОВКАХ НА ОСНОВЕ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

Гвоздкова Ю. Д.¹, Гвоздкова И. А.², Горбачев С. И.³

^{1,3} ФГБОУ ВО «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ

(национальный исследовательский университет)», Россия, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, 4,

¹gina94@yandex.ru, ³gor-sergey1@yandex.ru

² ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Россия,
117997, г. Москва, ул. Садовническая, 33, стр. 1,
gvozdkova@yandex.ru

Аннотация. В статье проанализированы проблемы, достижения, перспективы и темпы развития тонкопленочной фотовольтаики, основанной на использовании различных органических соединений. Обоснована необходимость проведения сравнительного многокритериального анализа перспективных технологий и материалов указанного сектора солнечной электроэнергетики с целью обеспечения компромисса между технико-экономической эффективностью их разработки, внедрения и использования и сохранением окружающей среды. Обобщены результаты исследований жизненных циклов фотоэлектрических устройств с активным слоем на основе высокомолекулярных и низкомолекулярных донорно-акцепторных органических соединений, полученных при помощи растворных и вакуумных технологий. Систематизированы технические, эксплуатационные и экологические критерии оценки преимуществ и недостатков тонкопленочных органических фотоэлементов и модулей на различных стадиях их жизненного цикла. Даны рекомендации по оптимизации эколого-ориентированного выбора органических солнечных батарей с учетом специфики их предназначения, условий эксплуатации и региональных предпочтений в сфере обеспечения энергетической, экологической и техносферной безопасности. Рассмотрено применение методов анализа иерархий и Монте-Карло для реализации статистически надежного многофакторного выбора органических фотовольтаических устройств и энергоустановок на их основе с учетом экологических и иных ограничений. Рассчитан эколого-технический рейтинг наиболее перспективных фотоэлектрических систем указанного вида и выявлен их оптимальный тип, способный конкурировать с фотоэлементами на неорганических тонких пленках. Проведены компьютерные эксперименты, позволившие сравнить комплексную конкурентоспособность наилучших органических фотоэлементов с их тонкопленочными аналогами на основе теллурида кадмия. Сформулированы перспективные направления развития использованного оптимизационного подхода в сфере фотоэлектрического сегмента солнечной энергетики.

Предмет исследования: технико-экономические и экологические характеристики фотоэлектрических энергоустановок с активным слоем из органических материалов на различных стадиях жизненного цикла

Материалы и методы: органические материалы активного слоя солнечных фотоэлементов и энергоустановок на их основе, метод анализа иерархий, метод Монте-Карло, методы математической статистики, компьютерное моделирование с использованием средств MS Excel и VBA

Результаты: выявлен оптимальный тип органических солнечных батарей, удовлетворяющий эколого-техническим требованиям и ограничениям и соответствующая ему технология получения активного слоя; проведена статистически обоснованная комплексная сравнительная оценка наилучших органических фотоэлементов и тонкопленочных солнечных модулей с активным слоем на основе теллурида кадмия

Выводы: доказана комплексная конкурентоспособность тонкопленочных фотоэлементов на основе низкомолекулярных донорно-акцепторных органических соединений, полученных с помощью вакуумных технологий

Ключевые слова: фотоэлектрические энергоустановки, тонкопленочные фотоэлементы, органические материалы активного слоя, многокритериальная эколого-ориентированная оценка, метод анализа иерархий, метод Монте-Карло.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время солнечная электроэнергетика имеет самые высокие темпы роста среди всех источников электроэнергии: на начало 2020 г. прирост ее мощностей составлял 48 % от общего прироста мощностей мирового электроэнергетического комплекса. Доля солнечной энергии в выработке электричества сейчас превышает 2,6 % [1]. Самым перспективным направлением развития гелиоэнергетики стал фотовольтаический сектор, основанный на прямом преобразовании энергии Солнца в электрический

ток с помощью солнечных батарей (СБ), называемых также солнечными фотоэлементами.

К основным достоинствам СБ относятся:

- доступность и неисчерпаемость солнечной энергии (для удовлетворения глобальной энергетической потребности достаточно покрыть примерно 0,1 % поверхности Земли солнечными преобразователями с КПД 10 %, что соответствует площади 700 x 700 км²);

- высокая степень безопасности для окружающей среды (ОС);

- значительно более низкие капитальные и эксплуатационные затраты по сравнению с устройствами традиционной углеводородной

энергетики; постоянное снижение стоимости «солнечной» электроэнергии;

-мобильность и долговечность (средний срок эксплуатации не менее 30 лет);

-отсутствие движущихся частей.

Главные недостатки солнечных батарей:

-зависимость выработки электроэнергии от погодных условий и времени суток, что требует соответствующих систем аккумуляции энергии;

-сильная зависимость степени токсичности от вида материала активного слоя фотоэлемента и аккумулятора произведенной с помощью него электроэнергии;

-себестоимость солнечной электроэнергии может быть выше средних показателей по энергетике.

Ключевым фактором, определяющим технико-экономическую эффективность, степень экологической безопасности и конкурентоспособность солнечных фотоэлементов, является вид материалов, на основе которых создается их активный слой [2]. Наиболее распространенными материалами указанного слоя являются кремний, теллурид кадмия, арсенид галлия, медь, селен, индий, галлий.

Основные проблемы современной фотовольтаики связаны с поиском способов увеличения КПД, долговечности, стабильности, степени экологичности солнечных батарей, а также со снижением их стоимости. Поэтому в различных научно-технологических лабораториях идет активный поиск новых процессов получения и видов материалов для фотоэлектрических энергоустановок.

К перспективным материалам активного слоя СБ относятся донорно-акцепторные низкомолекулярные и высокомолекулярные органические соединения и перовскиты [3-5]. Фотоэлементы, создаваемые на их основе, принято относить к третьему поколению. Главные достоинства указанных материалов заключаются в потенциально низкой стоимости, высокой экологичности (кроме перовскитов, содержащих свинец) и сильной поглощательной способности в максимуме солнечного спектра, обеспечивающей создание на их основе ультратонких фотоэлектрических элементов (с активным слоем толщиной 100 нм и менее). Основным недостаток рассматриваемых соединений – нестабильность и деградация изготовленных из них фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) солнечной энергии, проявляющиеся в уменьшении их КПД из-за воздействия атмосферного кислорода и влажности, ультрафиолетового излучения и повышенных температур [6].

Органическая фотовольтаика является одной из наиболее развивающихся областей альтернативной энергетики, интерес к которой в настоящий момент возрастает экспоненциально, что проявляется прежде всего в росте количества научных работ, посвященных указанной инновационной тематике.

В данной статье изложены результаты многокритериального эколого-ориентированного анализа перспектив использования различных органических материалов в фотоэлектрических энергоустановках. Указанные результаты были получены методами анализа иерархий и Монте-Карло.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В настоящий момент более 90 % фотовольтаического рынка приходится на солнечные батареи из мультикристаллического (multi-Si) и монокристаллического (mono-Si) кремния. Ключевым конкурентным преимуществом таких устройств является высокая эффективность преобразования энергии Солнца (20-25 % для коммерчески доступных солнечных модулей) [5]. Среди недостатков рассматриваемых фотоэлементов отмечается прежде всего сложность технологии производства, хрупкость, непрозрачность и большой вес панелей (толщина активного слоя кремниевых СБ около 3 мкм, плотность кремния 2,33 г/см³ [7]). Кроме этого, энергоустановки на основе кремниевых кристаллических солнечных батарей требуют дорогостоящих и затратных по времени установки и обслуживания.

Наиболее перспективной альтернативой фотоэлементам на основе кристаллического кремния являются тонкопленочные солнечные батареи (им принадлежит сейчас около 7,5 % рынка фотовольтаических устройств) [5]. Тонкопленочные фотоэлементы (ТФ) изготавливают путем нанесения одного или нескольких тонких слоев или тонкой пленки фотоэлектрического материала на стеклянную, металлическую или пластиковую подложку [8].

К доминирующим материалам активного слоя фотоэлектрических ячеек на тонких пленках относятся теллурид кадмия (CdTe), диселенид меди-индия-галлия (CIGS, $\text{CuIn}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{Se}_2$, $0 \leq x \leq 1$), аморфный кремний (a-Si), нанокристаллический кремний (nc-Si), микрокристаллический кремний (μc-Si) [5, 6, 8].

Сравнение коммерческих тонкопленочных фотоэлементов с солнечными батареями на основе кристаллического кремния приводит к следующим выводам:

1) средние показатели эффективности преобразования солнечной энергии у ТФ ниже (рис. 1) [5];

2) цена сопоставима (около 0,3 \$/Вт) [5];

3) ФЭП на тонких пленках более прочные [8];

4) ТФ имеют меньший вес (что особенно важно при их перевозке и эксплуатации в различных транспортных средствах, включая авиацию) [8];

5) ТФ могут быть изготовлены на гибких подложках, что позволяет покрывать ими поверхности разнообразной формы (как плоские, так и криволинейные), резать на части, выпускать в рулонах [8];

6) благодаря высокой степени прозрачности ТФ могут использоваться вместо остекления [8];

7) климатические и экологические изменения, слабая освещенность, рассеянность света, высокие и низкие температуры оказывают на ТФ гораздо меньшее негативное воздействие [6, 8, 9];

8) средний срок энергетической окупаемости, определяемый промежутком времени, в течение

которого должна функционировать фотоэлектрическая энергосистема, чтобы сгенерировать такое же количество энергии, какое было использовано для ее создания на всех предыдущих стадиях жизненного цикла (ЖЦ), сопоставимый (1,1-1,2 года) [5, 6, 8].

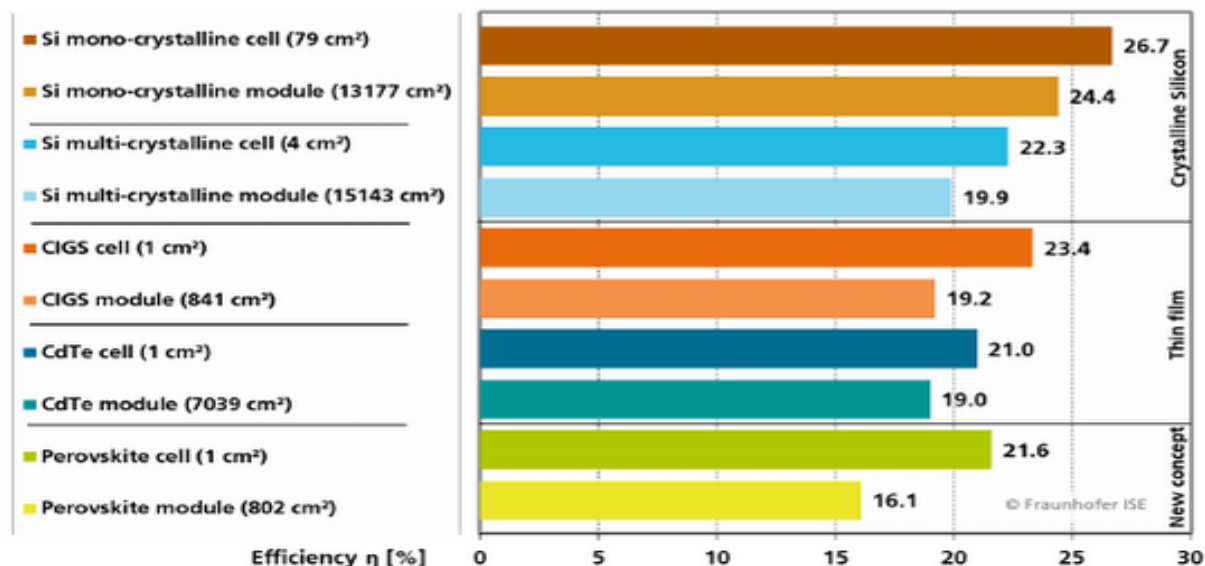


Рис. 1. КПД солнечных батарей с различным материалом активного слоя [5]

Fig. 1. Efficiency of solar cells with different active layer material [5]

По мнению многих экспертов, у тонкопленочной фотовольтаики имеется достаточно большой потенциал по интегрированию ее устройств не только в наземные энергетически эффективные строительные конструкции, системы мониторинга и транспортные средства, но и в различные летательные аппараты. Предполагается, что развитие солнечной электроэнергетики в ближайшие годы будет связано главным образом с совершенствованием технологий изготовления и эксплуатационных характеристик тонкопленочных солнечных фотоэлементов и энергоустановок на их основе. При этом большие надежды возлагаются на разработки ТФ на основе перовскитов (ABX_3 : А – одновалентный катион ($CH_3NH_3^+$, Cs^+ и др.), В – двухвалентный металл-ион (Pb^{2+} , Sn^{2+} , Ge^{2+} и др.), Х – одновалентный анион (Br^- , Cl^- , I^- и др.)) и органических полупроводников, к которым относятся π -сопряженные органические и элементоорганические молекулы, олигомеры и полимеры, органические красители и комплексы металлов [5-7].

Органические соединения, используемые в тонкопленочных ФЭП, обеспечивают им выгодные

преимущества перед их традиционными неорганическими аналогами. К таким достоинствам относятся легкость (толщина активного слоя таких устройств около 100 нм, плотность органических материалов 1,1-1,3 г/см³), экологичность (если при их получении не используют токсичные растворители), широкая цветовая гамма, растяжимость, меньшая потенциальная стоимость [3, 4, 7, 10, 11]. Органические солнечные батареи (ОСБ) могут быть изготовлены с помощью простых, высокопроизводительных и недорогих технологий, к которым относятся рулонные методы печати на гибких подложках (рис. 2) [7, 12]. Кроме этого, ОСБ более эффективно преобразуют рассеянный свет от искусственных источников, создающих низкую освещенность [3, 4, 7], что значительно расширяет сферу применения рассматриваемых устройств. Например, такие источники энергии можно использовать внутри помещений и транспортных средств. Еще одним аргументом в пользу органических фотовольтаических модулей является их очень простая фиксация: такие модули монтируются двусторонней липкой лентой.

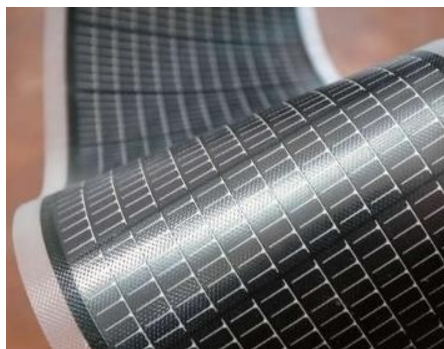


Рис. 2. Гибкие органические солнечные батареи [7]
Fig. 2. Flexible organic solar panels [7]

Наиболее перспективными материалами активного слоя органических солнечных элементов являются низкомолекулярные и высокомолекулярные донорно-акцепторные соединения. Для получения высокомолекулярных донорно-акцепторных соединений (ВМДАС) используют растворные технологии, для синтеза низкомолекулярных донорно-акцепторных соединений (НМДАС) – растворные и вакуумные технологии [3, 4, 12-16].

В настоящее время КПД ОСБ достигает значений, превосходящих 18 %, что в 1,3 раза превосходит эффективность коммерческих фотоэлементов на основе аморфного кремния и приближается к показателям, характерным для большинства солнечных батарей (рис. 1) [14]. Однако такие показатели продемонстрированы только в устройствах небольшой площади (2 – 5 мм²), изготовленных в лабораторных условиях с использованием галогенсодержащих растворителей, которые являются высокотоксичными [14]. Рулонные промышленные технологии ориентированы на изготовление СБ с площадями в десятки квадратных метров. Средний КПД органических солнечных батарей больших площадей (более 50 см²) составляет около 7 % [15-17]. Для достижения более высоких значений эффективности, а также для перехода к экологичному производству ОСБ, требуются новые технологии и материалы, являющиеся воспроизводимыми и масштабируемыми. Ученые Института проблем химической физики РАН разрабатывают новые сопряженные полимеры с полупроводниковыми свойствами для создания эффективных и стабильных органических солнечных батарей и модулей увеличенной площади с применением методов, совместимых с промышленными рулонными технологиями и основанных на использовании экологически безопасных (не содержащих галогены) растворителей [18].

Для обеспечения стабильности КПД органических и перовскитных СБ [3, 4, 6, 13]:

1) в материал вводят различные примеси;
 2) покрывают пленки специальными изолирующими покрытиями;

3) создают гибридные солнечные ячейки на основе кремния с нанесением на него тонкопленочного органического или перовскитного материала.

Основные факторы деградации органических фотоэлементов – проникновение в них молекулярного кислорода и воды. Поэтому ОСБ должны искать ниши, где кристаллический кремний и другие неорганические фотоэлектрические технологии не могут быть использованы, а ограниченный срок эксплуатации органических фотовольтаических устройств не является важным эксплуатационным фактором. В настоящее время такими солнечными батареями можно покрывать строительные конструкции и транспортные средства, не рассчитанные на перенос больших нагрузок, с проектным сроком эксплуатации менее 20 лет (складские помещения, остановки общественного транспорта, небольшие самолеты и т. д.). Другое перспективное применение ОСБ связано с их встраиванием в портативную электронную технику и изделия легкой промышленности, включая одежду. Средний минимальный срок службы лучших образцов гибких органических модулей составляет в настоящий момент около 5 лет, а жестких – 10 лет [17].

Главными причинами, сдерживающими широкое распространение ОСБ, являются их низкая эксплуатационная стабильность, низкие значения КПД устройств большой площади и использование токсичных растворителей в процессе их создания. Несмотря на это, компании Heliatek, Infiniti PV, Solarmer и другие активно разрабатывают проекты практического применения технологий органической фотовольтаики. Например, Heliatek реализовала установку органических солнечных батарей, изготовленных с применением вакуумных технологий, на ветроустановке, фасадах и крыше зданий (рис. 3) [13, 19].

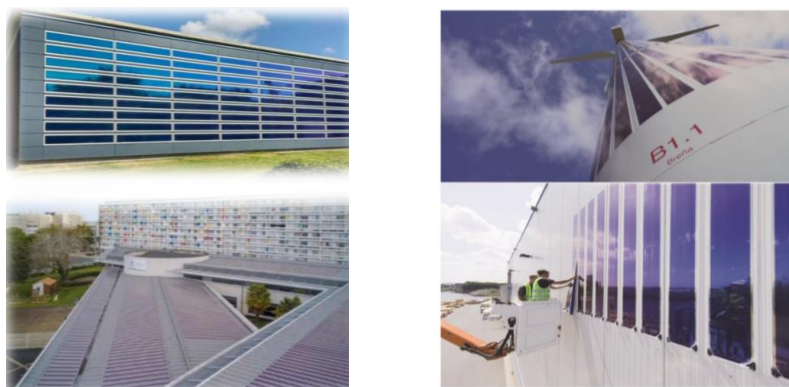


Рис. 3. Проекты, реализованные Heliatek, по установке ОСБ на ветроустановке, фасадах и крыше зданий [13, 19]
Fig. 3. Projects implemented by Heliatek for the installation of organic solar panels on wind turbines, facades and roofs of buildings [13, 19]

Для того, чтобы органические солнечные батареи могли быть внедрены в производство, необходимо выполнение целого ряда условий:

- они должны иметь достаточно высокие значения КПД и длительный срок эксплуатации;
- изготовление устройств рассматриваемого вида должно быть недорогим и отвечать международным экологическим стандартам;
- ОСБ должны быть такими, чтобы их можно было быстро интегрировать в различные инфраструктурные объекты, транспортные средства, в современную приборную базу и в другие приложения в качестве элементов питания.

В настоящий момент нет ни одного материала, использование которого позволило бы создать органические фотовольтаические устройства, удовлетворяющие всем указанным условиям. В зависимости от варианта назначения к энергоустановкам на основе солнечных батарей могут предъявляться особые требования, устанавливающие ограничения на их использование. В связи с этим актуальной задачей является выбор оптимальной технологии органической фотовольтаики из имеющихся альтернатив, которая обеспечила бы компромисс между техническими, экономическими и экологическими ограничениями с учетом региональных особенностей и предпочтений лиц, принимающих решения (ЛПР), в сфере обеспечения энергетической и техносферной безопасности.

В работе [17] с помощью индекса синтетической сложности (ИСС) проведена оценка некоторых органических соединений, используемых для создания активного слоя тонкопленочных СБ растворными методами. ИСС включает пять затратных составляющих (число стадий химического синтеза; выход химических реакций; количество операций; количество циклов очистки колоночной хроматографии; количество опасных химических веществ, используемых в процессе получения вещества) и определяет стоимость синтезируемого соединения. Полученные данные авторы сопоставили со значениями КПД соответствующих фотовольтаических устройств,

дополнив результаты исследования качественным сравнительным анализом их стабильности, токсичности, перерабатываемости, интегрируемости, способности менять цвет, гибкости и степени прозрачности. Для стандартизации комплексного учета ключевых характеристик органических фотоэлементов был предложен специальный параметр, прямо пропорциональный эффективности и сроку службы и обратно пропорциональный ИСС.

В работах [20, 21] представлены алгоритмы комплексного многокритериального эколого-ориентированного выбора различных технологических решений при помощи оптимизационных математических методов. В работе [6] выявлен оптимальный для эксплуатации тип тонкопленочных фотовольтаических систем второго поколения с помощью методики сравнительной оценки экологических и технико-экономических характеристик жизненных циклов фотоэлектрических энергоустановок. Оптимальное инженерное решение (ТФ с активным слоем из CdTe) было получено методами анализа иерархий и Монте-Карло с использованием средств MS Excel и VBA.

Результатирующие экологические эффекты ОСБ могут быть определены как на основе научно обоснованных региональных предпочтений, так и по общей методике анализа и оценки жизненного цикла, разработанной в соответствии с требованиями международного стандарта ISO 14040, с использованием данных баз EcoInvent, представленной Swiss Centre for Life Cycle Inventories (<http://www.ecoinvent.org/>), и Europea Reference Life Cycle Data System ELCD, предоставленной JRC [22, 23].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Наиболее разработанными процессами создания активного слоя органических солнечных батарей являются растворные технологии синтеза высокомолекулярных донорно-акцепторных

органических материалов [14-18, 24-31]. Вакуумные технологии синтеза их низкомолекулярных аналогов менее исследованы несмотря на то, что имеют целый ряд преимуществ [13, 19, 32]. Вакуумное испарение не требует растворителей, что облегчает соблюдение экологических норм. ОСБ, полученные «сухими» методами, обычно демонстрируют гораздо лучшую стабильность по сравнению с фотовольтаическими устройствами на основе материалов, осажденных из раствора. Но средние значения КПД полимерных фотоэлементов в настоящий момент превышают эффективность лучших ОСБ, полученных с помощью вакуумной обработки малых молекул.

Для многофакторной сравнительной оценки тонкопленочных органических фотоэлементов между собой и с их неорганическими аналогами был использован алгоритм комплексного эколого-ориентированного выбора оптимальной фотоэлектрической энергоустановки, представленный в работе [6].

Многокритериальная оценка СБ осуществлялась методом анализа иерархий с уровнями цели, критериев и альтернативных решений по формулам [6, 20, 21]:

$$V(j) = \sum_{i=1}^N r(i) q(i, j), \quad (1)$$

$$j = 1, 2, \dots, P, \quad i = 1, 2, \dots, N,$$

$$r(i) = \frac{R(i)}{\sum_{i=1}^N R(i)}, \quad (2)$$

$$q(i, j) = \frac{Q^m(i, j)}{\sum_{j=1}^P Q^m(i, j)}, \quad (3)$$

где $V(j)$ (j – номер энергоустановки) – итоговые весовые коэффициенты сравниваемых СБ;

P – количество сравниваемых СБ;

N – количество критериев оценки;

$r(i)$ – нормированный весовой коэффициент i -го критерия оценки;

$R(i)$ – ненормированный рейтинг значимости i -го критерия оценки ($R(i) \geq 0$);

$q(i, j)$ – нормированный показатель оценки СБ с номером j по i -у критерию;

$Q(i, j)$ – ненормированное значение показателя оценки j -ой СБ по i -у критерию ($Q(i, j) \geq 0$ при $m = 1$; $Q(i, j) > 0$ при $m = -1$);

m – параметр, определяющий, какое значение показателя оценки решения по критерию является самым ценным: наибольшее или наименьшее (например, для долговечности фотоэлемента $m = 1$, а для стоимости материала и фотоэлектрических установок на его основе $m = -1$).

Оптимальной будет солнечная батарея с наибольшим значением итогового весового коэффициента $V(j)$.

Поиск решения был автоматизирован с помощью специальной компьютерной программы, написанной на языке программирования VBA (Visual Basic for Application) для приложения MS Excel 2010 [20].

Наилучшее решение должно способствовать снижению негативного воздействия на ОС и повышать технико-экономическую эффективность фотоэлектрической энергоустановки. При этом оно должно быть устойчивым и статистически надежным.

Оценка статистической надежности найденного инженерного решения проводилась в компьютерном эксперименте, осуществленном методом Монте-Карло [33].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Характеристики наиболее эффективных фотовольтаических органических ячеек и модулей приведены в работах [14-17, 24-32]. Результаты их анализа представлены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики наиболее эффективных фотовольтаических органических ячеек и модулей

Table 1. Characteristics of the most efficient photovoltaic organic cells and modules

Органический материал активного слоя (донор/акцептор)	Вид устройства	Толщина активного слоя, нм	Площадь активного слоя, см ²	Способ получения материала активного слоя	КПД, %
D18/Y6 (полимер, содержащий бензодитиофен, с узкозонным нефуллереновым акцептором), [14]	Однопереходная сертифицированная ячейка	103	0,03	Растворные технологии, растворитель – хлороформ, немасштабируемый метод вращающейся подложки	18,2
PfBT4T/ C ₇₀ PCBM, [24]	Однопереходная ячейка	400	0,06	Растворные технологии, растворитель – триметилбензол, немасштабируемый метод вращающейся подложки	11,7

Продолжение таблицы 1

Continuation of table 1

Органический материал активного слоя (донор/акцептор)	Вид устройства	Толщина активного слоя, нм	Площадь активного слоя, см ²	Способ получения материала активного слоя	КПД, %
BTID-2F/ C ₇₀ PCBM, [26]	Однопереходная ячейка	130	0,04	Растворные технологии, растворитель – хлороформ, немасштабируемый метод вращающейся подложки	11,3
PTzBI-Si/ N2200, [25]	Однопереходная ячейка	130	0,04	Растворные технологии, растворитель – циклопентил-метилловый эфир, немасштабируемый метод вращающейся подложки	10,9
PBDB-T/ITIC/ C ₇₀ PCBM, [15]	Однопереходный модуль на жесткой подложке	103	216	Растворные технологии, растворитель – хлорбензол, масштабируемый метод	7,7
PNTz4T/ C ₇₀ PCBM, [27]	Однопереходный модуль на жесткой подложке	240	54,45	Растворные технологии, растворитель – о-ксилол, масштабируемый метод	6,6
PBDTTT-EFT/ C ₇₀ PCBM, [28]	Однопереходный модуль на жесткой подложке	~ 100	216	Растворные технологии, растворитель – толуол, масштабируемый метод	5,12
PTB7-Th/PPDIE, [31]	Однопереходный модуль на гибкой подложке	100	10	Растворные технологии, растворитель – хлорбензол, рулонный масштабируемый метод	7,7
SMD-2/ITIC, [29]	Однопереходный модуль на гибкой подложке	200	80	Растворные технологии, растворитель – хлорбензол, рулонный масштабируемый метод	5,25
PBTZT-stat- BDTT-8/ C ₆₀ PCBM, [30]	Однопереходный модуль на гибкой подложке	100	68,7	Растворные технологии, растворитель – о-ксилол, рулонный масштабируемый метод	4,3
Высокомолекулярное донорно-акцепторное соединение (ВМДАС 1), [16]	Сертифицированный модуль на гибкой подложке	~ 100	802	Растворные технологии, рулонный масштабируемый метод	8,7
Высокомолекулярное донорно-акцепторное соединение (ВМДАС 2), [16, 17]	Сертифицированный однопереходный модуль на гибкой подложке	~ 100	26,13	Растворные технологии, рулонный масштабируемый метод	12,6
Высокомолекулярное донорно-акцепторное соединение (ВМДАС 3), [16, 17]	Сертифицированный однопереходный модуль на гибкой подложке	~ 100	203,98	Растворные технологии, рулонный масштабируемый метод	11,7
Низкомолекулярное донорно-акцепторное соединение (НМДАС), [32]	Многoperеходный модуль на гибкой подложке	~ 100	4629	Вакуумные рулонные технологии, масштабируемый метод	7,7

На рис. 4 представлены результаты расчета итогового эколого-технического рейтинга фотоэлектрических органических модулей, которые, по данным табл. 1, либо были изготовлены без использования токсичных растворителей, либо прошли сертификацию в специальных научных центрах (указанные модули в табл. 1 выделены). Исключение из дальнейшего анализа ячеек объясняется отсутствием перспектив их практического применения. Вычисления проводились по формулам (1) - (3) с помощью средств VBA и MS Excel. Информации о том, с помощью каких растворителей изготовили рассматриваемые сертифицированные модули, в

проанализированных публикациях нет. Поэтому в расчетах предполагалось, что они были получены с помощью растворных технологий, не являющихся экологически безопасными. Для сравнительного анализа были выбраны наиболее важные для стадий производства и эксплуатации критерии оценки, по каждому из которых хотя бы одна альтернатива имеет показатели, отличные от других.

Из представленных данных следует, что в настоящее время наиболее перспективными материалами активного слоя ОСБ являются низкомолекулярные органические донорно-акцепторные соединения (НМДАС), полученные с помощью вакуумных технологий: итоговый весовой

коэффициент для соответствующих им модулей, равный 0,217, оказался самым высоким среди всех рассмотренных вариантов органических ФЭП большой площади. Следует отметить, что указанный результат был получен в предположении достаточно низкого срока их службы (около 5 лет), характерного, по данным работы [17], для лучших образцов гибких ОСБ. Однако в работе [13] отмечается, что органические солнечные элементы,

полученные вакуумными способами, являются более стабильными по сравнению с их полимерными аналогами и могут в ближайшие годы достичь более чем 20-летнего срока службы при условии блокировки ультрафиолетового излучения с помощью подходящих фильтров. Большинство современных полимерных СБ теряют около 50% своей эффективности в течение первых месяцев эксплуатации [18, 34].

ПУСК Резерв Из резерва ОЧИСТ. ЗНАЧ. ОЧИСТ. ВСЁ				Рейтинг:	0,108		0,125		0,141		0,138		0,135		0,136		0,217	
№	Критерии оценки	Параметр m (если лучший выбор - "минимум для абс. значения", то -1, иначе 1)	Вес критерия (от 0 до 10)	Норм. вес критерия	ОРГАНИЧЕСКИЕ ФОТОЭЛЕМЕНТЫ													
					PNTz4T/ C70 РСВМ		PBDTTT-EFT/ C70 РСВМ		PBTTzT-stat-BDIT-8/ C60 РСВМ		ВМДАС 1		ВМДАС 2		ВМДАС 3		НМДАС	
					Абс. знач.	Вес. коэф.	Абс. знач.	Вес. коэф.	Абс. знач.	Вес. коэф.	Абс. знач.	Вес. коэф.	Абс. знач.	Вес. коэф.	Абс. знач.	Вес. коэф.	Абс. знач.	Вес. коэф.
1	КПД модуля (%)	1	10	0,1389	6,6	0,1164	5,12	0,0903	4,3	0,0758	8,7	0,1534	12,6000	0,2221	11,7000	0,2063	7,7000	0,136
2	Площадь активного слоя (см²)	1	7	0,0972	54,45	0,0091	216	0,0360	68,7	0,0114	802	0,1337	26,1300	0,0044	203,9800	0,0340	4629,0000	0,771
3	Наличие сертификации	1	2	0,0278	0	0,0000	0	0,0000	0	0,0000	1	0,3333	1,0000	0,3333	1,0000	0,3333	0,0000	0
4	Толщина активного слоя (нм)	-1	7	0,0972	240	0,0649	100	0,1558	100	0,1558	100	0,1558	100,0000	0,1558	100,0000	0,1558	100,0000	0,156
5	Отсутствие токсичных растворителей (отн. ед.)	1	10	0,1389	1	0,2500	1	0,2500	1	0,2500	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	0,25
6	Гибкость подложки (отн. ед.)	1	7	0,0972	0	0,0000	0	0,0000	1	0,2000	1	0,2000	1,0000	0,2000	1,0000	0,2000	1,0000	0,2
7	Выпуск в рулонах (отн. ед.)	1	6	0,0833	0	0,0000	0	0,0000	1	0,2000	1	0,2000	1,0000	0,2000	1,0000	0,2000	1,0000	0,2
8	Простота и доступность технологии изготовления (отн. ед.)	1	6	0,0833	1	0,1538	1	0,1538	1	0,1538	1	0,1538	1,0000	0,1538	1,0000	0,1538	0,5000	0,077
9	Вес (г/м²) (плотность 1,2 г/куб. см)	-1	7	0,0972	0,288	0,0649	0,12	0,1558	0,12	0,1558	0,12	0,1558	0,1200	0,1558	0,1200	0,1558	0,1200	0,156
10	Средний минимальный срок службы (годы)	1	10	0,1389	10	0,2222	10	0,2222	5	0,1111	5	0,1111	5,0000	0,1111	5,0000	0,1111	5,0000	0,111

Рис. 4. Многокритериальная оценка фотоэлектрических органических модулей, проведенная методом анализа иерархий с использованием средств MS Excel и VBA

Fig. 4. Multi-criteria assessment of photovoltaic organic modules, carried out by the analytic hierarchy process using MS Excel and VBA

Многокритериальное сравнение выбранных модулей проводилось без учета их стоимости, т. к. сейчас массовое производство ОСБ только начинается, и поэтому трудно рассчитать, какова будет их рыночная цена. Однако некоторые оценочные данные уже получены: при эффективности органического модуля 15 %, сроке его службы около 20 лет он при массовом производстве может стоить 0,06 €/Вт, что примерно в 5 раз ниже стоимости современных фотовольтаических модулей первого и второго поколений [13].

По оценкам экспертов, основным фактором затрат, ответственным примерно за три четверти общей стоимости солнечных фотоэлементов, являются материалы [13]. При создании органических ТФ наиболее затратными являются процессы получения подложек, т. к. активные слои на порядки тоньше. Другими важными составляющими стоимости ОСБ являются их производительность и срок службы. Поэтому разница в стоимости между вакуумным оборудованием и оборудованием для обработки растворов, необходимым для промышленного производства, вероятнее всего, не будет ключевым фактором, определяющим различия в рыночных

ценах на органические модули, полученные «сухими» и «мокрыми» способами.

Компания Heliatek установила, что жизненный цикл ее фотоэлектрических модулей (полученных вакуумным способом) имеет одну из самых низких эмиссий CO₂ среди всех технологий производства электроэнергии [13]. Другая немецкая компания TÜV Rheinland провела оценку ЖЦ в соответствии с DIN EN ISO 14040:2009 и DIN EN ISO 14044:2018 и получила для солнечной инсоляции Германии углеродные выбросы менее 16 кг CO₂-экв. на м² произведенного модуля ОСБ [13]. Это означает, что для Южной Европы углеродный след составляет всего 5-7 г CO₂-экв. на 1 кВт-ч выработанной электроэнергии, а для центральной Европы - 7-9 г CO₂-экв. на 1 кВт-ч, что значительно ниже всех коммерческих солнечных технологий, за исключением производства электроэнергии с помощью СБ на основе CdTe (2,5 – 6,5 кг CO₂-экв. на м² произведенного модуля), и сопоставимо с ветровой и гидроэнергетикой [6, 13].

Результаты многофакторной сравнительной оценки наиболее перспективных фотовольтаических модулей второго и третьего поколений приведены на рис. 5 (это модули с активным слоем из теллурида кадмия и низкомолекулярного донорно-акцепторного

органического соединения, полученного методами вакуумного осаждения). Указанные устройства сравнивались по наиболее важным показателям, для которых имеются достоверные качественные или количественные сведения. Критерии, по которым

сравниваемые ТФ имеют близкие характеристики (например, удельные объемы выбросов углекислого газа, прозрачность и др.), для упрощения расчетов были исключены из рассмотрения.

ПУСК Резерв Из резерва очист. знач. очист. всё					Рейтинг:	0,580		0,420	
№	Критерии оценки	Параметр m (если лучший выбор - "минимум для абс. значения", то -1, иначе 1)	Вес критерия (от 0 до 10)	Норм. вес критерия	ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ФОТОЭЛЕМЕНТЫ				
					НМДАС (вакуумный способ)		CdTe		
					Абс. знач.	Вес. коэф.	Абс. знач.	Вес. коэф.	
1	КПД модуля (%)	1	10	0,1695	7,7	0,2884	19	0,7116	
2	Площадь активного слоя (см²)	1	7	0,1186	4629	0,3967	7039	0,6033	
3	Срок службы (годы)	1	10	0,1695	5	0,0833	55	0,9167	
4	Толщина активного слоя (нм)	-1	7	0,1186	100	0,9375	1500	0,0625	
5	Экологическая безопасность (отн. ед.)	1	1	0,0169	10	0,9091	1	0,0909	
6	Гибкость подложки (отн. ед.)	1	5	0,0847	1	0,6667	0,5	0,3333	
7	Выпуск в рулонах (отн. ед.)	1	5	0,0847	1	0,6667	0,5	0,3333	
8	Простота и доступность технологии изготовления (отн. ед.)	1	1	0,0169	2	0,6667	1	0,3333	
9	Вес (г/м²)	-1	7	0,1186	0,12	0,9865	8,775	0,0135	
10	Растяжимость	1	5	0,0847	1	1,0000	0	0,0000	
11	Широта цветовой гаммы	1	1	0,0169	1	1	0	0	

Рис. 5. Многокритериальная оценка ТФ на основе CdTe и НМДАС, проведенная методом анализа иерархий с использованием средств MS Excel и VBA

Fig. 5. Multi-criteria evaluation of thin-film photovoltaic modules based on CdTe and low-molecular-weight donor-acceptor organic compounds, carried out by the analytic hierarchy process using MS Excel and VBA

Приведенные расчеты демонстрируют незначительное превосходство органических тонкопленочных модулей над их аналогами на основе теллурида кадмия, несмотря на целенаправленное занижение в вычислениях весовых коэффициентов ряда критериев, по которым ОСБ имеют лучшие показатели.

Компьютерный эксперимент, осуществленный методом Монте-Карло, показал высокую надежность выводов о конкурентоспособности низкомолекулярных органических ТФ, полученных с помощью метода анализа иерархий (точность результатов составила около 10%).

Таким образом, уже сейчас можно считать ОСБ на основе рассмотренного НМДАС оптимальным видом тонкопленочных ФЭП при условии соблюдения технико-экономических и экологических требований, предъявляемых к энергоустановкам исследуемого типа.

ВЫВОДЫ

Многокритериальный анализ материалов и технологий создания активного слоя ОСБ, проведенный в работе, показал, что наибольшие

перспективы в настоящий момент имеют ТФ на основе низкомолекулярных донорно-акцепторных органических соединений, полученных методом вакуумного осаждения. Несмотря на невысокие значения КПД и ограниченный срок службы такие устройства при комплексной оценке демонстрируют более высокий рейтинг по сравнению с фотовольтаическими модулями на основе теллурида кадмия, являющегося наиболее востребованным материалом активного слоя солнечных батарей второго поколения.

Вакуумные способы создания активного слоя органических солнечных батарей аналогичны хорошо разработанным технологиям вакуумного осаждения, используемым при массовом производстве OLED-дисплеев [13], что, безусловно, делает наиболее перспективные технологические процессы органической фотовольтаики более доступными.

Дальнейшее развитие исследований фотоэлементов третьего поколения предполагает проведение эколого-ориентированной многофакторной оценки перспектив использования перовскитов в тонкопленочных ФЭП и энергоустановках на их основе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цопа Н.В., Дикарев А.Е. Перспективы применения возобновляемых источников энергоснабжения для малоэтажных зданий в условиях Крыма // Строительство и техногенная безопасность. 2020. № 19(71). С. 85 – 92.
2. Гвоздкова И.А., Парашук Д.Ю. Солнечная энергетика: подрастающий игрок // Химия и жизнь – XXI век. 2007. № 3. С. 6 – 9.
3. Lizin S., Van Passel S., De Schepper E., Maes W., Lutsen L., Mancab J., Vanderzandeb D. Life cycle analyses of organic photovoltaics: a review // Energy and Environmental Science. 2013. V. 6. pp. 3136.
4. Xue R., Zhang J., Li Ya., Li Yo. Organic solar cell materials toward commercialization // Small. 2018. V. 14(41). pp. 24.
5. Photovoltaics Report. 16 September 2020. URL: <https://www.ise.fraunhofer.de> (дата обращения 10.12.2020).
6. Гвоздкова Ю.Д., Гвоздкова И.А. Многокритериальная эколого-ориентированная оценка энергоустановок на основе фотоэлементов с различным материалом активного слоя // Строительство и техногенная безопасность. 2019. № 17(69). С. 89-101.
7. Дроздов Ф.В., Пономаренко С.А. Органические солнечные батареи – легкие, гибкие, полупрозрачные // Природа. 2016. № 4. С. 3-14.
8. Thin-film solar cell. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Thin-film_solar_cell (дата обращения 09.12.2020).
9. Tonkin B. Understand thin film solar panels before you regret it // Sun Power Source. 2018. URL: <https://www.sunpowersource.com/> (дата обращения 10.01.2020).
10. Liu S., Yuan J., Deng W., Luo M., Xie Y., Liang Q., Zou Y., He Z., Wu H., Cao Y. High-efficiency organic solar cells with low non-radiative recombination loss and low energetic disorder // Nature Photonics. 2020. V. 14. pp. 300–305.
11. Cheng P., Li G., Zhan X., Yang Y. Next-generation organic photovoltaics based on non-fullerene acceptors // Nature Photonics. 2018. V. 12. № 3. pp. 131-142.
12. Qu B., Forrest S.R. Continuous roll-to-roll fabrication of organic photovoltaic cells via interconnected high-vacuum and low-pressure organic vapor phase deposition systems // Applied Physics Letters. 2018. V. 113. 053302.
13. Riede M., Spoltore D., Leo K. Organic solar cells – the path to commercial success // Advanced Energy Materials. 2021. V. 11. 2002653.
14. Liu Q., Jiang Y., Jin K., Qin J., Xu J., Li W., Xiong J., Liu J., Xiao Z., Sun K., Yang S., Zhang X., Ding L. 18% Efficiency organic solar cells // Science Bulletin. 2020. V. 65. pp. 272–275.
15. Huang K. M., Lin C. M., Chen S. H., Li C. S., Hu C. H., Zhang Y., Meng H. F., Chang C. Y., Chao Y. C., Zan H. W., Huo L., Yu P. Nonfullerene polymer solar cell with large active area of 216 cm² and high power conversion efficiency of 7.7% // Solar RRL. 2019. V. 3. № 8. 1900071.
16. Green M.A., Dunlop E.D., Hohl-Ebinger J., Yoshita M., Kopidakis N., Hao X. Solar cell efficiency tables (version 57) // Progress in Photovoltaics: Research and Applications. 2020. pp. 1 – 13.
17. Brabec C.J., Distler A., Du X., Egelhaaf H.-J., Hauch J., Neumueller T., Li N. Material strategies to accelerate OPV technology toward a GW technology // Advanced Energy Materials. 2020. V. 10. 2001864.
18. Akkuratov A.V., Susarova D.K., Kozlov O.V., Chernyak A.V., Moskvina Yu.L., Frolova L.A., Pshenichnikov M.S., Troshin P.A. Design of (X-DADAD)n type copolymers for efficient bulk heterojunction organic solar cells // Macromolecules. 2015. V. 48(7). pp. 2013-2021.
19. Heliadek. The future is light. URL: <https://www.heliadek.com/product/> (дата обращения 08.12.2020).
20. Гвоздкова Ю.Д., Гвоздкова И.А., Курочкин А.В., Черняев А.В. Информационная система оценки экологической безопасности авиационных материалов и технологий методом анализа иерархий // Информационные технологии. 2019. Т. 25. №3. С. 185 – 192.
21. Гвоздкова И.А. Многокритериальная социо-эколого-экономическая оценка региональных преимуществ инновационных технологий // Труд и социальные отношения. 2019. № 5. С. 134-150.
22. Ратнер С.В., Закорещкая К.А. Оценка экологической эффективности конкурирующих технологий фотовольтаики // Инновации. 2017. № 9(227). С. 77 – 84.
23. Уланова О.В., Салхофер С.П., Вюнш К. Комплексное устойчивое управление отходами. Жилищно-коммунальное хозяйство: учебное пособие. – М.: Издательский дом Академии Естествознания, 2016.
24. Zhao J., Li Y., Yang G., Jiang K., Lin H., Ade H., Ma W., Yan Y. Efficient organic solar cells processed from hydrocarbon solvents // Nature Energy. 2016. V. 1. 15027.
25. Li Z., Ying L., Zhu P., Zhong W., Li N., Liu F., Huang F., Cao Y. A generic green solvent concept boosting the power conversion efficiency of all-polymer solar cells to 11% // Energy and Environmental Science. 2019. V. 12. № 1. pp. 157-163.
26. Deng D., Zhang Y., Zhang J., Wang Z., Zhu L., Fang J., Xia B., Wang Z., Lu K., Ma W., Wei Z. Fluorination-enabled optimal morphology leads to over 11% efficiency for inverted small-molecule organic solar cells // Nature Communications. 2016. V. 7. 13740.
27. Rasool S., Vu D.V., Song C.E., Lee H.K., Lee S.K., Lee J.C., Moon S.J., Shin W.S. Room temperature processed highly efficient large-area polymer solar cells achieved with molecular engineering of copolymers // Advanced Energy Materials. 2019. V. 9. № 21. 1900168.
28. Chen S.H., Liao C.H., Chang C.Y., Huang K.M., Chen J.Y., Chen C.H., Meng H.F., Zan H.W., Horng S.F., Lin Y.C., Yeh M.H. Large-area blade-coated

organic solar cells processed from halogen-free solvent // *Organic Electronics*. 2019. V. 75. № 105376.

29. Han Y.W., Jeon S.J., Lee H.S., Park H., Kim K.S., Lee H.W., Moon D.K. Evaporation-free nonfullerene flexible organic solar cell modules manufactured by an all-solution process // *Advanced Energy Materials*. 2019. V. 9. № 42. 1902065.

30. Lucera L., Machui F., Schmidt H.D., Ahmad T., Kubis P., Strohm S., Hepp J., Vetter A., Egelhaaf H.J., Brabec C.J. Printed semi-transparent large area organic photovoltaic modules with power conversion efficiencies of close to 5 % // *Organic Electronics*. 2017. V. 45. C. 209-214.

31. Gu X., Zhou Y., Gu K., Kurosawa T., Guo Y., Li Y., Lin H., Schroeder B.C., Yan H., Molina-Lopez F., Tassone C.J., Wang C., Mannsfeld S.C.B., Yan H., Zhao D., Toney M.F., Bao Z. Roll-to-roll printed large-area all-polymer solar cells with 5% efficiency based on a low crystallinity conjugated polymer blend // *Advanced Energy Materials*. 2017. V. 7. № 14. 1602742.

32. Urrich C., Weiß A., Pfeiffer M. Roll-to-roll production of organic solar cells // *SPIE*. 2017. V. 10363.

33. Гвоздкова И.А., Курочкин А.В. Оценка надежности компьютерно-математических моделей оптимизации кадровых решений статистическими методами // *Труд и социальные отношения*. 2019. № 2. С. 93 – 109.

34. Sherafatipour G., Benduhn J., Patil B.R., Ahmadpour M., Spoltore D., Rubahn H.-G., Vandewal K., Madsen M. Degradation pathways in standard and inverted DBP-C70 based organic solar cells // *Scientific Reports*. 2019 V. 9. № 1. 4024.

REFERENCES

1. Tsopa N.V., Dikarev A.E. Prospects for renewable energy for low-rise buildings in Crimea // *Construction and industrial safety*. 2020. N 19(71). pp. 85 – 92. (In Russian)

2. Gvozdkova I.A., Parashchuk D.Yu. Solnechnaya energetika: podrastayushchiy igrok [Solar energy: a growing player] // *Khimiya i zhizn – XXI vek*. 2007. N. 3. pp. 6 – 9. (In Russian)

3. Lizin S., Van Passel S., De Schepper E., Maes W., Lutsen L., Mancab J., Vanderzandeb D. Life cycle analyses of organic photovoltaics: a review // *Energy and Environmental Science*. 2013. V. 6. pp. 3136.

4. Xue R., Zhang J., Li Ya., Li Yo. Organic Solar Cell Materials toward Commercialization // *Small*. 2018. V. 14(41). pp. 24.

5. Photovoltaics Report. 16 September 2020. URL: <https://www.ise.fraunhofer.de> (date of access 10.12.2020)

6. Gvozdkova I.A., Gvozdkova J.D. Multi-criteria environmental-oriented assessment of power plants based on solar cells with different active layer material // *Construction and industrial safety*. 2019. N 17(69). pp. 89 – 101. (In Russian)

7. Drozdov F.V., Ponomarenko S.A. Organic solar cells – lightweight, flexible, semitransparent // *Priroda*. 2016. N 4. pp. 3-14. (In Russian)

8. Thin-film solar cell. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Thin-film_solar_cell (date of access 09.12.2020)

9. Tonkin B. Understand thin film solar panels before you regret it // *Sun Power Source*. 2018. URL: <https://www.sunpowersource.com/> (date of access 10.01.2020).

10. Liu S., Yuan J., Deng W., Luo M., Xie Y., Liang Q., Zou Y., He Z., Wu H., Cao Y. High-efficiency organic solar cells with low non-radiative recombination loss and low energetic disorder // *Nature Photonics*. 2020. V. 14. pp. 300–305.

11. Cheng P., Li G., Zhan X., Yang Y. Next-generation organic photovoltaics based on non-fullerene acceptors // *Nature Photonics*. 2018. V. 12. N 3. pp. 131-142.

12. Qu B., Forrest S.R. Continuous roll-to-roll fabrication of organic photovoltaic cells via interconnected high-vacuum and low-pressure organic vapor phase deposition systems // *Applied Physics Letters*. 2018. V. 113. 053302.

13. Riede M., Spoltore D., Leo K. Organic solar cells – the path to commercial success // *Advanced Energy Materials*. 2021. V. 11. 2002653.

14. Liu Q., Jiang Y., Jin K., Qin J., Xu J., Li W., Xiong J., Liu J., Xiao Z., Sun K., Yang S., Zhang X., Ding L. 18% Efficiency organic solar cells // *Science Bulletin*. 2020. V. 65. pp. 272–275.

15. Huang K.M., Lin C.M., Chen S.H., Li C.S., Hu C.H., Zhang Y., Meng H.F., Chang C.Y., Chao Y.C., Zan H.W., Huo L., Yu P. Nonfullerene polymer solar cell with large active area of 216 cm² and high power conversion efficiency of 7.7% // *Solar RRL*. 2019. V. 3. N 8. 1900071.

16. Green M.A., Dunlop E.D., Hohl-Ebinger J., Yoshita M., Kopidakis N., Hao X. Solar cell efficiency tables (version 57) // *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*. 2020. pp. 1 – 13.

17. Brabec C.J., Distler A., Du X., Egelhaaf H.-J., Hauch J., Heumüller T., Li N. Material strategies to accelerate OPV technology toward a GW technology // *Advanced Energy Materials*. 2020. V. 10. 2001864.

18. Akkuratov A.V., Susarova D.K., Kozlov O.V., Chernyak A.V., Moskin Yu.L., Frolova L.A., Pshenichnikov M.S., Troshin P.A. Design of (X-DADAD)_n type copolymers for efficient bulk heterojunction organic solar cells // *Macromolecules*. 2015. V. 48(7). pp. 2013-2021.

19. Heliatek. The future is light. URL: <https://www.heliatek.com/product/> (date of access 08.12.2020)

20. Gvozdkova J.D., Gvozdkova I.A., Kurochkin A.V., Chernyaev A.V. Information system of environmental safety assessment of aviation materials and technologies by the analytic hierarchy process // *Information Technologies*. 2019. V. 25. N 3. pp. 185-192. (In Russian)

21. Gvozdkova I.A. Multi-criteria social, environmental and economic assessment of regional advantages of innovative technologies // *Labour and social relations*. 2019. N 5. pp. 134 – 150. (In Russian)

22. Ratner S.V., Zakoretskaya K.A. Assessment of ecological effectiveness of competing photovoltaic technologies // *Innovations*. 2017. N 9(227). pp. 77 – 84. (In Russian)
23. Ulanova O.V., Salhofer S.P., Vyunsh K. Integrated sustainable waste management. Housing and communal services: textbook. - M.: Publishing House of the Academy of Natural Sciences, 2016. (In Russian)
24. Zhao J., Li Y., Yang G., Jiang K., Lin H., Ade H., Ma W., Yan Y. Efficient organic solar cells processed from hydrocarbon solvents // *Nature Energy*. 2016. V. 1. 15027.
25. Li Z., Ying L., Zhu P., Zhong W., Li N., Liu F., Huang F., Cao Y. A generic green solvent concept boosting the power conversion efficiency of all-polymer solar cells to 11% // *Energy & Environmental Science*. 2019. V. 12. N 1. pp. 157-163.
26. Deng D., Zhang Y., Zhang J., Wang Z., Zhu L., Fang J., Xia B., Wang Z., Lu K., Ma W., Wei Z. Fluorination-enabled optimal morphology leads to over 11% efficiency for inverted small-molecule organic solar cells // *Nature Communications*. 2016. V. 7. 13740.
27. Rasool S., Vu D.V., Song C.E., Lee H.K., Lee S.K., Lee J.C., Moon S.J., Shin W.S. Room temperature processed highly efficient large-area polymer solar cells achieved with molecular engineering of copolymers // *Advanced Energy Materials*. 2019. V. 9. N 21. 1900168.
28. Chen S.H., Liao C.H., Chang C.Y., Huang K.M., Chen J.Y., Chen C.H., Meng H.F., Zan H.W., Horng S.F., Lin Y.C., Yeh M.H. Large-area blade-coated organic solar cells processed from halogen-free solvent // *Organic Electronics*. 2019. V. 75. N 105376.
29. Han Y.W., Jeon S.J., Lee H.S., Park H., Kim K.S., Lee H.W., Moon D.K. Evaporation-free nonfullerene flexible organic solar cell modules manufactured by an all-solution process // *Advanced Energy Materials*. 2019. V. 9. N 42. 1902065.
30. Lucera L., Machui F., Schmidt H.D., Ahmad T., Kubis P., Strohm S., Hepp J., Vetter A., Egelhaaf H.J., Brabec C.J. Printed semi-transparent large area organic photovoltaic modules with power conversion efficiencies of close to 5 % // *Organic Electronics*. 2017. V.45. pp. 209-214.
31. Gu X., Zhou Y., Gu K., Kurosawa T., Guo Y., Li Y., Lin H., Schroeder B.C., Yan H., Molina-Lopez F., Tassone C.J., Wang C., Mannsfeld S.C.B., Yan H., Zhao D., Toney M.F., Bao Z. Roll-to-roll printed large-area all-polymer solar cells with 5% efficiency based on a low crystallinity conjugated polymer blend // *Advanced Energy Materials*. 2017. V. 7. N 14. 1602742.
32. Uhrich C., Weiß A., Pfeiffer M. Roll-to-roll production of organic solar cells // *SPIE*. 2017. V. 10363.
33. Gvozdkova I.A. Kurochkin A.V. The reliability evaluation of computer[^]mathematical models of optimization of personnel solutions by statistical methods // *Labour and social relations*. 2019. N 2. pp. 93 – 109. (In Russian)
34. Sherafatipour G., Benduhn J., Patil B.R., Ahmadpour M., Spoltore D., Rubahn H.-G., Vandewal K., Madsen M. Degradation pathways in standard and inverted DBP-C70 based organic solar cells // *Scientific Reports*. 2019 V. 9. N 1. 4024.

ASSESSMENT OF THE PROSPECTS FOR THE USE OF ORGANIC MATERIALS IN SOLAR POWER PLANTS

Gvozdkova J. D.¹, Gvozdkova I. A.², Gorbachev S. I.³

^{1,3} MOSCOW AVIATION INSTITUTE (National Research University), Russia, 125993, Moscow, Volokolamskoye shosse, 4,
¹ gina94@yandex.ru, ³ gor-sergey1@yandex.ru

² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State University named after A.N. Kosygin (Technology. Design. Art)", Russia, 117997, Moscow, st. Sadovnicheskaya, 33, building 1, gvozdkova@yandex.ru

Summary: The article analyzes the problems, achievements, prospects and rates of development of thin-film photovoltaics based on the use of various organic compounds. The necessity of multi-criteria comparative analysis of these solar energy advanced technologies and materials is justified to ensure a compromise between the technical and economic efficiency of their design, implementation, use and the environment-oriented issues. The results of studies of the life cycles of photovoltaic devices with an active layer based on high-molecular and low-molecular donor-acceptor organic compounds obtained using solution and vacuum technologies are summarized. The technical, operational and environmental criteria for evaluating the advantages and disadvantages of thin-film organic solar cells and modules at various stages of their life cycle are systematized. Recommendations are given for optimizing the environmental-oriented selection of organic solar cells, taking into account the specifics of their purpose, operating conditions and regional preferences in the field of energy, environmental and technological security. The application of analytic hierarchy process and Monte Carlo method for the implementation of statistically reliable multivariate selection of organic photovoltaic devices and power plants based on them, taking into account environmental and other constraints, is considered. The ecological and technical ratings of the most promising photovoltaic systems of this type are calculated and their optimal type is identified, which can compete with photovoltaic cells on inorganic thin films. Computer experiments were carried out to compare the complex competitiveness of the best organic solar modules with their thin-film analogues based on cadmium telluride. The perspective directions of development of the used optimization approach in the field of photovoltaic segment of solar energy are formulated.

Subject of research: technical, economic and environmental characteristics of photovoltaic modules with an active layer of organic materials at various stages of the life cycle

Materials and methods: organic materials of the active layer of solar cells and modules based on them, analytic hierarchy process, Monte Carlo method, methods of mathematical statistics, computer modeling using MS Excel and VBA tools

Results: the optimal type of organic solar modules that meets the environmental and technical requirements and limitations and the corresponding technology for producing its active layer are identified; a statistically based comprehensive comparative assessment of the best organic solar panels and thin-film solar modules with an active layer based on cadmium telluride is carried out

Conclusions: the complex competitiveness of thin-film solar modules based on low-molecular-weight donor-acceptor organic compounds obtained using vacuum technologies is proved

Key words: photovoltaic power plants, thin-film solar cells, organic materials of the active layer, multi-criteria environmental-oriented assessment, analytic hierarchy process, Monte Carlo method.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ С ДВУХСТОРОННЕЙ ПРИЁМНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ДЛЯ УСТАНОВОК МАЛОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Кувшинов¹ В.В., Бекиров² Э.А., Гусева³ Е.В.

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Институт ядерной энергии и промышленности, ул. Курчатова, 7, г. Севастополь, РФ, 299015, kuvshinov.vladimir@gmail.com

²ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. Вернадского», Физико-технический институт, г. Симферополь, РФ, bekirov.e.a@cfuv.ru

³ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Морской институт, г. Севастополь, РФ, ул. Университетская, 33, г. Севастополь, РФ, 299053, alenaalena@mail.ru

Аннотация. В представленной работе приводится возможность использования фотоэлектрических кремниевых панелей с двухсторонним расположением солнечных элементов на лицевой и тыльной стороне. При нехватке места для размещения солнечных батарей такие типы модулей способны значительно увеличить генерацию электрической энергии. Оснащение фотоэлектрических систем аккумуляторными батареями способствует более рациональному расходу электрической энергии, при этом накопители энергии значительно повышают эффективность работы солнечных генерирующих систем. Предложенные конструкции предназначены для увеличения мощностных характеристик преобразователей солнечной энергии в зимние месяцы, при наличии снегового покрова или при использовании на дорожных покрытиях отражающих поверхностей. Результаты проведенных экспериментальных исследований показали значительную эффективность предложенных конструкций, а также увеличение суммарной выработки электрической энергии. С развитием мирового технического потенциала и значительными объемами увеличения производства энергетических установок для солнечной энергетики появилась новая возможность использования комбинированных солнечных установок для фотоэлектрического преобразования потока падающей солнечной радиации. На кафедре Возобновляемые источники энергии и электрические системы и сети в Севастопольском государственном университете на площадке института ядерной энергии и промышленности была разработана и исследована фотоэлектрическая установка, состоящая из двух сторонних кремниевых солнечных элементов и систем аккумулирования энергии. В статье приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований, представлены схемы, рисунки и графики различных характеристик фотоэлектрической панели ФСМ-110Д и аккумуляторных батарей. Результаты исследований показывают повышенную эффективность работы предложенной установки, а также хорошую возможность использования представленных фотоэлектрических систем для обеспечения ими автономных и индивидуальных потребителей, проживающих в Крымском регионе и городе Севастополе.

Предмет исследования. Электрические характеристики двухсторонних фотоэлектрических модулей и аккумуляторных батарей.

Материалы и методы. В работе были проведены исследования действующей модели фотоэлектрической установки в натуральных условиях, использовались методы прямых измерений значений тока и напряжения фотоэлектрических преобразователей при изменяемом нагрузочном сопротивлении, а также методы теоретического анализа, математические и статистические методы, необходимые для обработки материалов исследования.

Результаты. Повышена эффективность работы фотоэлектрической установки за счет использования двухсторонних модулей и систем накопления энергии.

Выводы. По результатам экспериментов можно сделать заключение об увеличении эффективности работы солнечных установок с двухсторонними модулями и системами накопления электрической энергии.

Ключевые слова: фотоэлектрическое преобразование, аккумуляторная батарея, фотоэлектрическая система, солнечные элементы, двухсторонний фотоэлектрический модуль, отраженная солнечная радиация.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из проблем современной электроэнергетики является необходимость обеспечения генерирующих установок постоянными поставками углеводородного топлива, которое иногда необходимо поставлять за тысячи километров. При этом мировые цены на транспортные услуги за 2020 год значительно выросли. Строительство новых электростанций на традиционных видах топлив занимает значительное количество времени. Альтернативой являются солнечные и ветровые электростанции, не требующие поставок топлива, и которые возможно

намного быстрее построить и ввести в эксплуатацию.

В условиях современного состояния мировой энергетики, основанной в подавляющей массе на использование органических видов топлив, настала пора значительного увеличения доли экологически чистых возобновляемых источников энергии и введения в строй новых генерирующих электростанций, работающих как параллельно с сетью, так и для обеспечения автономного потребителя. Представленные энергетические установки не требуют добычи и транспортировки органического топлива и не оказывают какого-либо негативного экологического воздействия на окружающую среду. Однако проблемой этих установок является непостоянство потока

солнечной и ветровой энергии, приводящее к неравномерной выработке электроэнергии этими станциями, и как следствие их негативное воздействие на электрические сети и подстанции. Решение этой проблемы состоит в развитии комбинированных электрических систем, использующих генерирующие установки и аккумуляторные батареи, причем использование подобных установок для частных жилых домов и индивидуальных потребителей не требует поставок электрической энергии на длительные расстояния, сокращая потери при передаче.

В представленной работе были исследованы некоторые типы фотоэлектрических систем малой мощности, которые возможно эффективно использовать для индивидуальных строений и частных потребителей. В 2015-2016 годах из-за перебоев с электроснабжением многие потребители в некоторых районах Крыма и Севастополя установили аккумуляторные системы для бесперебойного электроснабжения. При оснащении аккумуляторных систем жилых домов фотоэлектрическими модулями можно значительно снизить электропотребление в масштабах города, а также обеспечить автономное электроснабжение индивидуальных потребителей. Предложенные системы малой генерации, при использовании их в больших масштабах, позволяют значительно сократить энергопотребление от традиционных крупных электрических станций, работающих на органическом топливе. При этом такие системы сокращают потери при передаче электроэнергии, не имеют вредных выбросов в окружающую среду, позволяют экономно использовать потребляемую энергию и др. Как видно предложенные системы, так называемой распределенной генерации, имеют значительный энергетический потенциал.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В различных литературных источниках описаны исследования фотоэлектрических установок и крупных солнечных электростанций [1-3]. При этом в некоторых источниках приводятся различные комбинации гибридных систем солнечной генерации, в частности с аккумуляторными станциями [4-7]. Использование комбинированных фотоэлектрических установок дает заметное увеличение эффективности выработки электрической энергии, а использование солнечных установок с комбинированной рабочей поверхностью, экономию материалов для их изготовления на единицу мощности, увеличивает их суммарный КПД и эффективность использования [5,7].

Главной проблемой применения солнечных установок является невысокая плотность потока солнечной радиации, преобразовываемой в тепловую и электрическую энергию, их низкий КПД и эффективность использования, как следствие высокая себестоимость за единицу

мощности [6]. Невысокий термический потенциал солнечной энергетики определяет более высокие требования к эффективности использования солнечных установок для электрообеспечения и теплоснабжения, к методам определения основных параметров эффективности, как фотоэлектрических модулей, так и аккумуляторных систем [4]. За счет комбинации фотоэлектрической батареи и гелиоколлектора можно создать конструкцию, позволяющую более эффективно использовать падающую солнечную радиацию и повысить коэффициент преобразования [5,8,9]. Современные промышленные монокремниевые и поликремниевые солнечные элементы имеют плоскую конструкцию, их КПД составляет 17-22 %, при коэффициенте поглощения до 95 %. При преобразовании солнечной энергии 20-22 % остальная часть поглощенного излучения идет в основном на тепловой нагрев элементов, что только ухудшает их качественную работу [5,9]. Используя более эффективно преобразование солнечной радиации приёмной поверхностью можно значительно увеличить суммарный коэффициент преобразования всей системы [8-10].

При использовании систем накопления электрической энергии возможно значительное увеличение эффективности работы солнечной генерирующей установки за счет более рациональной передачи электроэнергии потребителю в часы пиковой нагрузки [1,4]. При этом системы аккумулирования энергии могут работать совместно с общей сетью и служить накопителем при невысоком потреблении электричества в ночные часы [1,4].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Задачами исследования ставились изучение вольтамперных и мощностных характеристик модулей и аккумуляторов при повышенной интенсивности светового потока за счет использования прямого и отраженного излучения [6]. Для решения вышеописанных задач авторами предлагается использовать двухсторонние фотоэлектрические модули [3,10], работающие с отражающими покрытиями, которые представляют специальную конструкцию, при этом эффективность всей системы увеличивается, а время зарядки аккумуляторной станции значительно сокращается [4].

Для оснащения систем уличного освещения и обслуживания дорожных трасс используются промышленные фотоэлектрические модули, установленные на столбах одиночно или попарно. Их КПД составляет 17-22%, что является недостаточным для их эффективного использования. Для решения представленных проблем авторами предлагается использовать солнечные батареи с повышенной эффективностью

использования за счет расположения фотоэлементов на лицевой и тыльной стороне модуля, при этом лицевая сторона работает на прямом солнечном излучении, а тыльная за счет отражения света от дорожных покрытий, рассеянного излучения, а зимой за счет отражения от снегового покрова (рис.1).

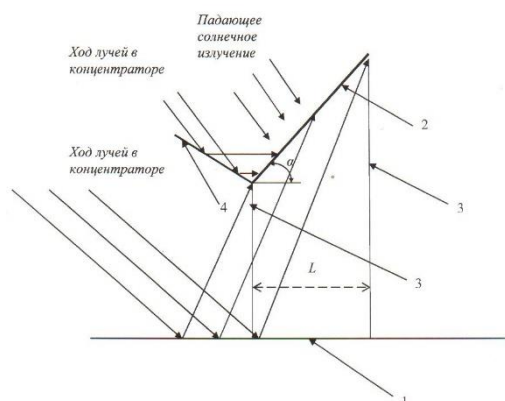


Рис.1. Ход лучей в конструкции отражателей для фотоэлектрического модуля ФСМ-110Д

Fig. 1. Beam path in the design of reflectors for the FSM-110D photovoltaic module

На рис. 1 следующие обозначения: 1 – отражающая поверхность большой площади; 2 – фотоэлектрический модуль (103 x 66 см); 3 – стойки модуля; 4 – отражающая боковая поверхность концентратора; L – расстояние между стойками; α – угол установки модуля (по отношению к отражающей поверхности 1).

Установка состоит из модулей двухсторонней конструкции производства фирмы «Квазар», т.е. кремниевые фотоэлементы расположены с лицевой и тыльной стороны [6]. Лицевая сторона имеет максимальную мощность 110 Вт, на ней расположено 72 элемента. Тыльная сторона имеет мощность 55 Вт и на ней также расположено 72 элемента (рис. 2). Следовательно, суммарная мощность одного модуля 165 Вт. Мощность каждого из 72 солнечных элементов лицевой стороны приблизительно составляет 1,52 Вт. На лицевой стороне мощность одного элемента составляет 0,76 Вт, эти элементы рассчитаны на работу при отраженной солнечной радиации небольшой интенсивности.

Работа двухсторонних фотоэлектрических модулей рассчитана на прямое и отраженное солнечное излучение (рис. 1), отражение происходит от светлой поверхности, расположенной на Земле. Как видно для увеличения мощности отраженной солнечной радиации необходимо использовать покрытия с высоким коэффициентом отражения. При этом площади необходимые на установку фотоэлектрической системы сокращаются на половину. Т.к. мощность тыльной стороны составляет 50 % от мощности лицевой стороны. Покрытиями с высоким коэффициентом отражения могут являться бетон, покрытое известью дорожное

покрытие, при отражении от стен зданий – инкерманский камень, белый газобетон, при отражении от крыш – оцинковка и др.

Размеры солнечных элементов на обеих сторонах модуля одинаковые, один фотопреобразователь составляет 10 x 10 см. Геометрические размеры фотоэлектрического модуля: длина 130 см. ширина 66 см (рис. 2).



Рис.2. Фотоэлектрический модуль ФСМ-110Д (двухсторонний) (фото в центре), мощностью 165Вт, 110 Вт – лицевая сторона (справа), 55 Вт – тыльная сторона с выходными контактами (слева)

Fig. 2. Photovoltaic module FSM-110D (double-sided) (photo in the center), 165 W, 110 W - front side (right), 55 W - back side with output contacts (left)

Для работы тыльной стороны и увеличения мощностных характеристик лицевой стороны фотоэлектрического модуля нужно использовать солнечные отражатели. Важное условие сконцентрированного солнечного излучения, это равномерное распределение светового потока по всей площади рабочей поверхности солнечной фотоэлектрической установки. Т.к. электрические параметры элементов одинаковы и рассчитаны на одинаковую освещенность, то при нарушении этого правила работа некоторых мало освещенных элементов модуля будет вредить работе остальных, а мощностные характеристики всей электрической системы будут падать.

Используя вышеописанное условие можно утверждать, что для работы фотоэлектрической установки необходимо использовать плоские отражающие поверхности с равномерным освещением рабочей поверхности.

Примерная конструкция отражателей должна соответствовать и заводской системе, изображенной схематично на рис. 1. Как видно из рис. 1 в качестве концентратора применены две отражающие конструкции (поверхности). Одна большой площади 1 (её размеры много больше размеров модуля по длине и ширине) она отражает свет на тыльную сторону, вторая 4 имеет одинаковые размеры с модулем и отражает поток солнечной радиации на лицевую сторону.

Применение представленных типов фотоэлектрических панелей имеет ряд особенностей, кроме преобразования прямого и диффузного солнечного излучения эти модули преобразуют тыльной стороной и отраженное

излучение, которое при некоторых условиях может являться составляющим для выработки электрической энергии (например, в зимних условиях при покрытии лицевой стороны снегом, тыльная сторона будет иметь хорошую выработку за счет отражения света от снегового покрова). Производство двухсторонних фотоэлектрических панелей на основе серийных установок позволит сократить затраты на монтаж конструкций фотоэлектрических модулей, увеличив мощность за счет использования его тыльной стороны [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

С целью получения характеристик для определения эффективности работы двухстороннего фотоэлектрического модуля проводились натурные эксперименты по определению различных режимов работы двухстороннего серийного заводского модуля ФСМ-110Д (рис. 1). Исследования характеристик фотоэлектрического модуля проводились при различных температурных показателях, различной солнечной освещенности [11,12] (ясная погода, переменная облачность, пасмурно), в разное время года. Полученные результаты сравнивались с заводской характеристикой модуля (рис. 3).

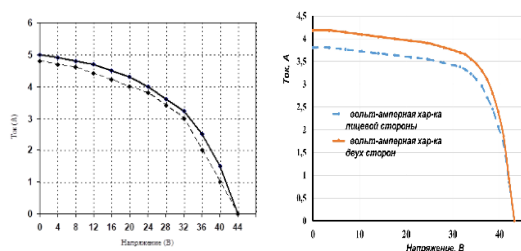


Рис. 3. ВАХ лицевой стороны модуля ФСМ-110Д. Справа: сплошная линия - заводская ВАХ; пунктирная линия – ВАХ, полученная при освещенности 990 Вт/м². Слева: ВАХ, полученная при освещенности 900 Вт/м².

Fig. 3. CVC of the front side of the FSM-110D module. Right: solid line - factory CVC; the dotted line is the I - V characteristic obtained at an illumination of 990 W / m². Left: I - V characteristic obtained at an illumination of 900 W / m².

Исследования фотоэлектрического модуля проводились в течение года (с осени по весну 2020 года) на площадке Севастопольского государственного университета (СевГУ), кафедрой Возобновляемые источники энергии электрические системы и сети. Все эксперименты проводились в натуральных условиях на открытой территории, при естественном солнечном освещении.

По полученным данным были построены вольтамперные характеристики (ВАХ) фотоэлектрического модуля ФМС-110Д (рис. 3).

При проведении экспериментов в натуральных условиях на площадке СевГУ при прямых измерениях тока и напряжения в зависимости от различных значений нагрузочного сопротивления

R_n [3,11,12], были получены данные мощностных характеристик (рис. 4) фотоэлементов лицевой и тыльной приемных поверхностей ФСМ-110Д.

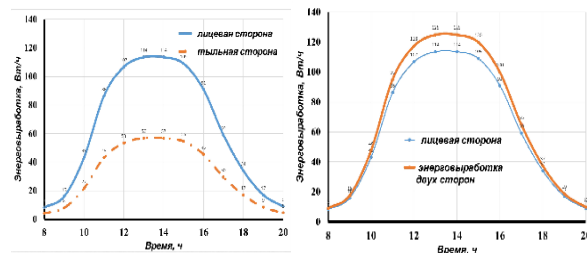


Рис. 4. Вольтамперные характеристики лицевой стороны модуля ФСМ-110Д. Справа: мощностная характеристика лицевой и тыльной приемных поверхностей. Слева: суммарная мощностная характеристика лицевой и тыльной приемных поверхностей. Характеристики получены при освещенности 900 Вт/м².

Fig. 4. Volt-ampere characteristics of the front side of the FSM-110D module. Right: power characteristic of the front and rear receiving surfaces. Left: the total power characteristic of the front and rear receiving surfaces. The characteristics are obtained with an illumination of 900 W / m².

По мощностным характеристикам можно говорить о качестве работы модуля (рис. 4), о том какую выработку электрической энергии мы получим в данное время года, суток, при данных климатических факторах. Эти результаты необходимы при расчетах систем солнечного электроснабжения, при проектировании автономных фотоэлектрических систем. На рис. 5 приведены средние значения мощностных характеристик модуля ФСМ-110Д в разное время года.

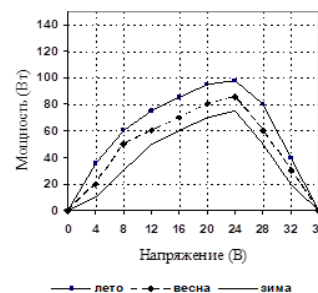


Рис. 5. Мощностные характеристики модуля 110-Д (данные получены при освещенностях 800 Вт/м²)
Fig. 5. Power characteristics of the 110-D module (data obtained at 800 W / m² illumination)

Как видно из графиков, значения мощности, вырабатываемой двухсторонним фотоэлектрическим модулем, изменяются более чем на 40 %, при работе в разное время года и при использовании тыльной приемной поверхности.

Вольтамперные и мощностные характеристики соответствуют нормальной работе модуля, следовательно, отраженный поток солнечной

радиации равномерно распределен по рабочей поверхности. При этом падения КПД солнечных элементов не наблюдается, следовательно, нет перегрева рабочей поверхности модуля.

Для получения электроэнергии для солнечных станций, работающих параллельно с сетью, данные на графиках полностью устраивают проектировщиков, однако для зарядки аккумуляторной станции необходимо учитывать ещё ток и напряжение заряда. В результате работы автономной системы с аккумуляторами необходимо определить потери, которые связаны с определенными параметрами заряда аккумуляторных батарей (АКБ).

Целью проведения экспериментальных исследований было определение возможных потерь и построение графических значений исследуемых характеристик АКБ. В натурных условиях изменения угла падения лучей на приемную поверхность фотоэлектрического модуля на определенный градус приводят к изменению освещенности рабочей поверхности модуля $E_{\text{бат}}$ на определенную величину, что, в свою очередь, влияет на работу фотоэлектрического модуля [12]. Смоделировать ситуацию изменения освещенности рабочей поверхности при движении Солнца по горизонту можно, изменяя в течение короткого времени положение угла установки фотоэлектрического модуля к горизонту и, проводя при этом прямые измерения тока и напряжения модуля при изменении нагрузочного сопротивления. При увеличении освещенности солнечной батареи, вырабатываемый её ток, увеличивается в прямой зависимости [11,12].

Для расчетов мощности солнечной фотоэлектрической батареи используется известная формула [12]:

$$P_{\text{бат.}} = E_0 \eta_{\text{эл.}} S_{\text{бат.}} F \cos \alpha_0 \quad (1)$$

где $\eta_{\text{эл.}}$ – КПД элементов; E_0 – солнечная освещенность; $S_{\text{бат.}}$ – площадь солнечной батареи; F – фактор, учитывающий особенности солнечной батареи (заполнении элементами и возможную деградацию её параметров); α_0 – суммарный угол между нормалью к плоскости модуля и солнечными лучами.

По нашим экспериментальным данным угол наклона модуля по отношению к падающим солнечным лучам сильно влияет на показатели солнечных батарей, в результате изменяются энергетические и мощностные характеристики модуля. На рис. 6 приведены теоретические и экспериментальные значения различных параметров фотоэлектрических модулей в зависимости от угла установки.

При измерениях рабочая поверхность модуля изначально была сориентирована перпендикулярно Солнцу, что соответствовало углу установки 45° . Затем измерения проводились при изменениях угла

подъема фотоэлектрической панели относительно поверхности земли. Эксперименты проводились в ясный солнечный день, показания освещенности соответствовало постоянному значению 870 Вт/м^2 , измерялись ток и напряжение в рабочей точке, а также ток $I_{\text{к.з.}}$. Данные были получены для конца марта (дни весеннего равноденствия) на широте Севастополя ($44,6^\circ$ с. ш.). Максимальное значение солнечной освещенности и энергетических показателей модуля для этого времени года соответствует приблизительно углу установки в $45-50^\circ$ от горизонтальной поверхности. На графиках на рисунках 5 и 6 показаны усредненные результаты значения угла солнечного склонения близкого к значению широты местности, т.е. около 45° (данные получены при освещенности 860 Вт/м^2 , в дни весеннего равноденствия, в эти дни можно с большей точностью определить угол солнечного склонения для наших экспериментов).

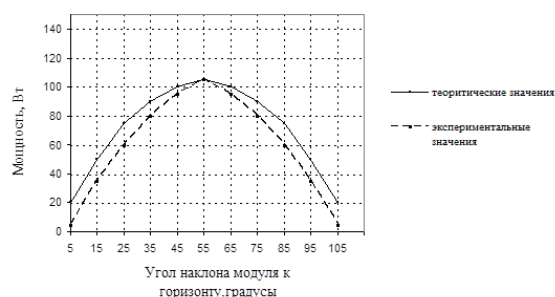


Рис. 6. Зависимость изменения выходной мощности фотоэлектрического модуля ФСМ-110Д при изменении угла наклона модуля к горизонту

Fig. 6. Dependence of the change in the output power of the FSM-110D photovoltaic module when the angle of inclination of the module to the horizon changes

Рассмотрим причины несоответствия между теоретическими и экспериментальными данными. Предположим, что это несоответствие заключается в конструкциях солнечных модулей, причем эти конструкции могут отличаться для различных выпускаемых серий. Значение освещенности активной поверхности солнечной батареи вычисляется из формулы (1) и напрямую зависит от косинуса угла падения лучей на рабочую поверхность модуля и плотности потока падающей солнечной радиации [6,12]. Формула (1) подходит только для расчетов солнечных элементов. Для фотоэлектрического модуля, имеющего поверхность элементов нескольких видов защитных покрытий, эти формулы необходимо дополнить поправочным коэффициентом. Т.к. каждый тип прозрачного защитного покрытия имеет определенный оптический коэффициент преломления, непосредственно для расчетов фотоэлектрических модулей, вместо формулы (1) целесообразно использовать формулу:

$$P_{\text{бат.}} = E_0 \eta_{\text{эл.}} S_{\text{бат.}} F \cos(K \cdot \alpha_0) \quad (2)$$

где K – суммарный коэффициент ослабления светового потока, зависящий от конкретной конструкции и количества защитных покрытий модуля; α_0 – начальный гол падения лучей на рабочую поверхность фотоэлектрического модуля (угол между нормалью к плоскости модуля и направлением падения лучей).

Значения номинальной мощности заводских измерений [11] модуля 110-Д соответствуют значениям напряжения около 30 В и тока 4 А. Однако при натурных испытаниях значение напряжения в рабочей точке с увеличением освещенности в весенние месяцы падает до 24 В, при этом мощностные характеристики сохраняются, а значения тока растут сильнее, чем по результатам заводских испытаний. Коэффициент преобразования солнечных элементов модуля рассчитываем, используя заводские данные и формулы (1) и (2). Этот коэффициент различается в разные месяцы для солнечной батареи. Так в январе он наибольший, а в мае – наименьший.

Для проектирования работы фотоэлектрической установки для зарядки аккумулятора и обеспечения автономного потребителя необходимо провести исследования с целью определения времени зарядки аккумуляторов от фотоэлектрических модулей и определения параметров и времени работы установки.

При проведении экспериментов была получена зависимость зарядной ёмкости аккумулятора в зависимости от времени зарядки (рис. 7). При этом солнечная освещённость контролировалась люксметром, и в момент проведения эксперимента была постоянной и составляла 850 Вт/м².

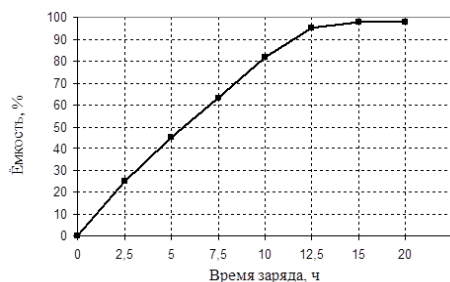


Рис. 7. Зависимость относительной ёмкости заряда аккумулятора от времени заряда, при освещённости 850 Вт/м²

Fig. 7. Dependence of the relative capacity of the battery charge on the charging time, at an illumination of 850 W / m²

Как видно из графика за 1 ч аккумулятор заряжается на 15 % номинальной ёмкости. Заряд аккумулятора происходит от 30 % до 98 % ёмкости. Время заряда до 98 % составляет 8-14 часов. Ток заряда соответствует ёмкости делённой на 10,6. Большой ток на аккумулятор подавать нельзя, т.к. он выйдет из строя.

При измерении потока солнечной радиации, можно определить зависимость тока заряда от солнечной освещённости: $I = f(E)$. Эта зависимость приведена на рис. 8.

Как видно из графика зависимость $I = f(E)$, является нелинейной в отличие от зависимости тока короткого замыкания солнечной батареи от освещенности. Эти исследования очень значимы для дальнейших расчетов зарядки и работы аккумуляторной станции в комбинации с фотоэлектрическими модулями.

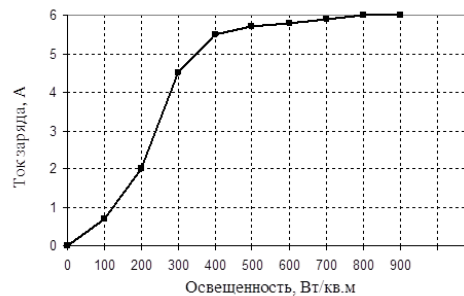


Рис. 8. Зависимость тока заряда от освещённости
Fig. 8. Dependence of charge current on illumination

ВЫВОДЫ

По результатам проведенной работы можно сделать следующие основные выводы:

Проведенный анализ известных типов существующих солнечных установок обнаружил проблемы в работах по повышению эффективности использования серийных фотоэлектрических модулей.

Задача повышения эффективности использования солнечных установок сводится к новым разработкам систем фотоэлектрического электроснабжения и аккумуляторных станций, пригодных для работы с серийными фотоэлектрическими модулями, а также к последующим разработкам и исследованиям работы солнечных электроустановок, созданных на основе промышленных фотопреобразователей и аккумуляторных батарей.

На основе проведенных экспериментальных и теоретических исследований было установлено, что использование двухсторонних модулей и накопителей электрической энергии значительно повышает эффективность работы солнечных систем генерации.

В ходе работы был исследована установка, состоящая из двухсторонних модулей ФСМ-110Д и аккумуляторной системы. В результате работы были получены зависимости времени заряда аккумулятора и параметров фотоэлектрического модуля ФСМ-110Д в зависимости от плотности потока солнечной радиации. Эти исследования очень значимы для дальнейших расчетов зарядки и работы аккумуляторной станции в комбинации с фотоэлектрическими модулями.

Проведённые экспериментальные исследования в натурных условиях подтвердили, что при использовании двухстороннего фотоэлектрического модуля происходит улучшение эффективности работы системы, а при увеличении освещённости за счёт отражённого излучения на тыльной поверхности и увеличение вырабатываемой мощности.

Полученные данные дают возможность использовать предложенные системы при дальнейшем проектировании фотоэлектрических систем для электроснабжения дорожных объектов и автономных потребителей.

В ходе работы были рассмотрены вопросы экологии и уменьшения загрязнения окружающей среды, в частности для Крымского региона и города Севастополь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абд Али Лаит Мохаммед, Хайдер Абдулсахиб Исса. Разработка элементов Smart Grid для оптимизации режимов районных сетей // Молодой ученый. 2014. № 8. С. 117–120.
2. Лукутин Б. В., Муравлев И. О., Плотников И. А., “Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями”, – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 128 с.
3. Арбузов Ю. Д. Основы фотоэлектричества / Ю. Д. Арбузов, В. М. Евдокимов – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007. – 292 с.
4. V. V. Kuvshinov, V. V. Kolomiychenko, E. G. Kakushkina, L. M. Abd Ali, V. V. Kuvshinova / Storage System for Solar Plants // *Applied Solar Energy // Allerton Press, Inc.* – 2019, Volume 55, Issue3, pp 153–158.
5. Кувшинов В.В., Бекиров Э.А. / Теплофотоэлектрическая установка для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии // *Строительство и техногенная безопасность // Симферополь: КФУ им. Вернадского*, № 15(67) – 2019, стр. 141-149.
6. Колтун М.М. Оптика и метрология солнечных элементов / М.М. Колтун // – М.: Наука, 1985. – 300 с.
7. Кузнецов К. В. Исследование характеристик солнечного воздушного гибридного коллектора / К. В. Кузнецов, И. И. Тюхов, Э. Д. Сергиевский // *Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве, Труды 6-й Международной научно-технической конференции*, 13-14 мая 2008 г. – Москва, ГНУ ВИЭСХ, 2008. – Ч. 4. – С. 227 - 231.
8. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки, Москва: Энергоатомиздат, 1991. 208 с.
9. Кувшинов В.В. Пат. 150122 Российская федерация; МПК H 01 L 31/00. Фототермопреобразователь солнечной энергии / Башта А.И., Кувшинов В. В.; патентообладатели Башта А.И., Кувшинов В. В. – Заявка № 2014149416/93; заявл. 17.10.2014; опубл. 27.01.2015, Бюл. № 3.

10. V. V. Kuvshinov, L. M. Abd Ali, E. G. Kakushkina, B. L. Krit, N. V. Morozova, V. V. Kuvshinova / *Studies of the PV Array Characteristics with Changing Array Surface Irradiance // Applied Solar Energy* – 2019, Volume 55, Issue 4, pp 223–228.

11. Фотоэлектрические приборы из кристаллического кремния. Методика коррекции результатов измерения вольтамперной характеристики (МЭК 891-87): ГОСТ 28976-91. – [Введ. 19.04.91]. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 42 с. – (Национальный стандарт России).

12. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей / Г. Раушенбах // – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 397 с.

REFERENCES

1. Abd Ali Laith Mokhammed, Khayder Abdulsakhil Issa. [Development of Smart Grid elements for optimizing regional network modes]. *Molodoy uchenyy*, 2014, vol. 8, pp. 117-120 (in Russ.).
2. Lukutin B.V., Muravlev I.O., Plotnikov I.A., “*Sistemy elektrosnabzheniya s vetrovymi i solnechnymi elektrostantsiyami*”, [Power Supply Systems with Wind and Solar Power Plants], Plotnikov – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2015. – 128 s.
3. Arbuzov U.D. Basics of photovoltaics. Moscow, GNU VIES, Publ., 2007, 292 p.
4. V.V. Kuvshinov, V. Kolomiychenko, E. G. Kakushkina, L. M. Abd Ali, V. V. Kuvshinova / Storage System for Solar Plants // *Applied Solar Energy // Allerton Press, Inc.* – 2019, Volume 55, Issue3, pp 153–158.
5. Kuvshinov V.V., Bekirov E.A. / Thermal photoelectric installation for combined generation of thermal and electrical energy // *Construction and technogenic safety // Simferopol: KFU im. Vernadsky*, No. 15 (67) - 2019, pp. 141-149.
6. Koltun M.M. Optika i metrologia solnechnih elementov [Optics and Metrology of solar cells]. Moscow, Nauka Publ., 1985, 300 p.
7. Kyznetsov K.V. Investigation of the characteristics of the hybrid solar air collector. *Materialy 6-oi Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Materials of 6-th International scientific-technical conference], Moscow, GNU VIES, Publ., 2008. pp. 227 - 231.
8. Kharchenko N.V. Individual solar installations, Moscow: Energoatomizdat, 1991. 208 p.
9. Kuvshinov V.V. Photos solar thermal convert energy [Photothermalpreobrazovatel solar energy]. *Pat.150122 Russian Federation; MPK H01L31/00*. Application № 2014149416/93; appl. 17.10.2014; published on 27.01.2015, Bull. No. 3.
10. V. V. Kuvshinov, L. M. Abd Ali, E. G. Kakushkina, B. L. Krit, N. V. Morozova, V. V. Kuvshinova / *Studies of the PV Array Characteristics with Changing Array Surface Irradiance // Applied Solar Energy* – 2019, Volume

55, Issue 4, pp 223–228.

11. Photovoltaic from crystal-crystal-silicon devices. Methods of correcting the measurement results of current-voltage ha-tics (IEC 891-87) GOST 28976-91. Standards Publishing House, 2004, 42 p.

12. Rauschenbach G. *Spravochnik po proektirovaniu colnechnix batarei* [Guide for the design

of solar panels], Moscow, Energoatomizdat Publ., 1983, 397 p.

USE OF PHOTOELECTRIC MODULES WITH DOUBLE-SIDED RECEIVING SURFACE FOR SMALL GENERATION UNITS

Kuvshinov¹ V.V., Bekirov² E.A., Guseva³ E.V.

¹Sevastopol State University, Institute of Nuclear Energy and Industry, Kurchatov Avenue, 7, Sevastopol, 299015, Russia, E-mail: kuvshinov.vladimir@gmail.com

²Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky, 295007, Simferopol, Prospect Academic Vernadsky 4, Russia, bekirov.e.a@cfuv.ru

³Sevastopol State University", Maritime Institute, Sevastopol, RF, st. Universitetskaya, 33, Sevastopol, RF, 299053, alenaalena@mail.ru

Summary: In the presented work, the possibility of using photovoltaic silicon panels with a double-sided arrangement of solar cells on the front and back sides is presented. With a lack of space for placing solar panels, these types of modules can significantly increase the generation of electrical energy. Equipping photovoltaic systems with rechargeable batteries contributes to a more rational consumption of electrical energy, while energy storage systems significantly increase the efficiency of solar generating systems. The proposed designs are intended to increase the power characteristics of solar energy converters in the winter months, in the presence of snow or when using reflective surfaces on road surfaces. The results of the experimental studies have shown a significant efficiency of the proposed designs, as well as an increase in the total generation of electrical energy. With the development of the global technical potential and a significant increase in the production of power plants for solar energy, a new opportunity has emerged to use combined solar plants for photovoltaic conversion of the flux of incident solar radiation. At the Department of Renewable Energy Sources and Electrical Systems and Networks at Sevastopol State University, at the site of the Institute of Nuclear Energy and Industry, a photovoltaic installation was developed and studied, consisting of two side silicon solar cells and energy storage systems. The article presents the results of experimental and theoretical studies, presents diagrams, drawings and graphs of various characteristics of the FSM-110D photovoltaic panel and storage batteries. The research results show the increased efficiency of the proposed installation, as well as a good possibility of using the presented photovoltaic systems to provide them with autonomous and individual consumers living in the Crimean region and the city of Sevastopol.

Subject of study. Electrical characteristics of double-sided photovoltaic modules and storage batteries.

Materials and methods. In the work, research was carried out on the operating model of a photovoltaic installation in full-scale conditions, methods of direct measurements of the current and voltage values of photoelectric converters with a variable load resistance, as well as methods of theoretical analysis, mathematical and statistical methods necessary for processing the research materials were used.

Results. The efficiency of the photovoltaic installation has been increased due to the use of double-sided modules and energy storage systems.

Findings. Based on the results of the experiments, it can be concluded that the efficiency of solar installations with double-sided modules and electric energy storage systems has increased.

Key words: photoelectric conversion, storage battery, photovoltaic system, solar cells, double-sided photovoltaic module, reflected solar radiation.

Раздел 4. Экологическая безопасность

УДК 628.477.8

РАЗВИТИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УТИЛИЗАЦИИ БЫТОВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ НА ПРИМЕРЕ ЛУГАНСКОЙ И ДОНЕЦКОЙ НАРОДНЫХ РЕСПУБЛИК

Лысенко¹ Е.В., Сердюк² А.И.¹ГОУ ВПО «Донбасский государственный технический институт», ЛНР, г. Алчевск, пр. Ленина, 16,²ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», ДНР, г. Макеевка, ул. Державина, 2
e-mail: STF_Kamerton@mail.ru, ecoalserdiuk@rambler.ru

Аннотация. Бытовые полимерные отходы являются сырьём для многих промышленных технологий, однако имеют небольшую массу при значительном занимаемом объёме, что является большой проблемой при их транспортировании к месту размещения перерабатывающего предприятия республиканского масштаба. В статье описывается наиболее сложный этап утилизации – сбор чисто вымытых населением («чистых») полимерных отходов, а также приводится эскизный чертёж мобильного реактора для пиролиза «грязных» полимерных отходов, сосредоточенных на полигонах твёрдых бытовых отходов. Приглашаются инвесторы для решения вопросов утилизации бытовых полимерных отходов на Донбассе.

Объект исследования: Бытовые полимерные отходы в Луганской и Донецкой Народных Республиках.

Предмет исследования: Совершенствование методов утилизации бытовых полимерных отходов как чисто вымытых со снятыми этикетками, так и грязных, сосредоточенных тысячами тонн на городских полигонах твёрдых отходов.

Материалы и методы: Определение возможных участников из состава государственных и коммерческих структур для выполнения эффективной утилизации бытовых полимерных отходов, собираемых в городах и сёлах Народных Республик Донбасса, с целью загрузки государственного перерабатывающего предприятия средней мощности.

Результаты: Проведены расчеты экономической эффективности при вложении финансовых средств в проект утилизации чистых отходов, именно с указанного проекта обязательно необходимо начинать работы по улучшению техногенной безопасности любых территориальных образований, т.к. успешное его осуществление резко снижает рост полигонов твёрдых бытовых отходов. Расчеты убедительно показывают целесообразность инвестирования финансов для защиты окружающей природной среды и возвращения средств населению, которые тратятся ими при покупке товаров в полимерной упаковке: в бутылках, банках, пакетах и пр.

Выводы: При наличии даже неполного цикла переработки бытовых полимерных отходов (до стадии получения дроблёнки и агломерата) возможно получение срока окупаемости проекта на уровне 1,3 года.

Ключевые слова: отходы, полимеры, утилизация.

ВВЕДЕНИЕ

В современную эпоху большинство товаров народного потребления и продуктов питания продаются в полимерной упаковке. Полимеры также широко используются для изготовления бытовой и медицинской посуды одноразового и многоразового применения, детских игрушек, корпусов различных бытовых приборов и многих других изделий, без которых трудно представить повседневную жизнь современного человека. Обеспечив высокий уровень эстетики, практичности и гигиеничности, изобретение цивилизации – полимеры, являются в случае их бесконтрольного использования своеобразной миной замедленного действия. Полимерные отходы, крайне длительно разлагаясь в естественных природных условиях, загрязняют окружающую среду обитания человека. Поэтому не случайно эти отходы относят к разряду небезопасных.

Население несет определенные финансовые убытки, связанные с тем, что при покупке товара потребитель оплачивает не только сам товар, но и его упаковку, которую вынужден затем просто выбрасывать в мусор. Экономические потери неизбежны также для коммунальных служб при

транспортировке бытовых полимерных отходов (БПО) в мусоровозах, поскольку полимерные бутылки, банки и флаконы имеют небольшую массу, однако занимают большой объём. Но самый большой вред наносится природной среде. По некоторым подсчётам на свалку города со стотысячным населением вывозится в течение месяца двадцать тонн БПО, при этом их количество ежегодно увеличивается.

В мировом сообществе утилизация БПО приобретает большое социальное, экологическое, гигиеническое и экономическое значение. Во многих странах дальнего зарубежья БПО уже давно используются в качестве вторичного полимерного сырья для различных промышленных технологий.

К сожалению, в Луганской и Донецкой Народных Республиках (ЛНР и ДНР) сохранилась существовавшая ранее в Украине крайне неэффективная ситуация, связанная с обращением с полимерными отходами. В настоящее время сбор и утилизация БПО проводятся в больших городах ЛНР и ДНР в немногочисленных пунктах приема вторичного сырья, которые принадлежат, в основном, частным лицам. В селах и поселках городского типа сбор БПО никем не проводится из-за малого объёма сырья.

В целом, процесс утилизации БПО в республиках характеризуется стихийностью и нестабильностью. Полимерного сырья собирается очень мало. Население вынуждено выбрасывать БПО, в лучшем случае, в мусорные контейнеры. Смешиваясь с другими бытовыми отходами, сырье сильно загрязняется и, практически, превращается в обычный бытовой мусор, который затем вывозится на полигоны твердых бытовых отходов (ТБО), загруженные этими материалами уже, практически, до предела. Большое количество БПО попадают в несанкционированные мусорные свалки в лесопосадках, балках и оврагах.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В некоторые города, например в Алчевске, неоднократно предпринимались определенные меры по сбору и переработке полимерных отходов. Как показывает опыт указанной деятельности, проблема заключается в организации рациональной

системы сбора БПО непосредственно у населения. На полигонах ТБО в различных городах периодически осуществляется выборка БПО из общей массы ввозимых на полигон отходов, но при анализе указанной деятельности было установлено, что сортировка мусора на полигоне не позволяет обеспечить подготовку сырья высокого качества – оно оказывается очень грязным. Перед утилизацией такое сырье необходимо предварительно мыть даже в нескольких водах. На это требуются значительные ресурсы, как правило, питьевой воды, которые являются дефицитом повсеместно на Донбассе. Для качественной отмывки БПО необходимо применять также моющие средства и специальное моечное оборудование. Перерабатывающим участкам одновременно необходимо решать и вопрос сброса грязной воды после отмывания БПО, что является сложной задачей.

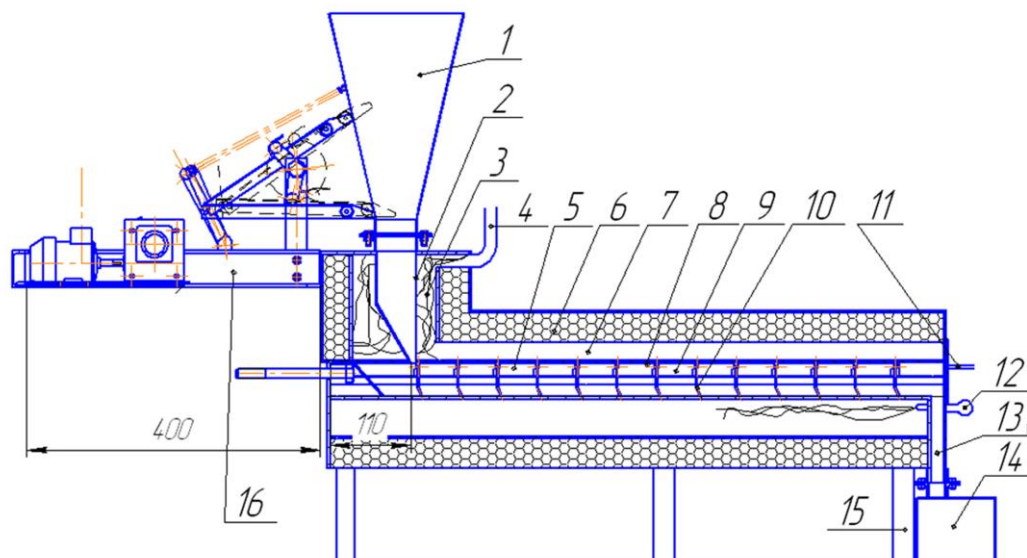


Рис. 1. Эскизный чертёж мобильного реактора горизонтального типа для пиролиза пластиковых отходов

Fig. 1. Sketch drawing of a horizontal type mobile reactor for pyrolysis of plastic waste

В целом, классическая технология очистки БПО с момента их сбора до начала процесса переработки – дорогостоящее мероприятие. Так, на каждый килограмм сырья потребуется израсходовать около 4-х литров воды. Образующиеся при этом сточные воды, содержащие специфические поверхностно-активные вещества нельзя без предварительной очистки сбрасывать в открытые водоемы. Строительство заводов по утилизации пластика неизбежно потребует монтажа современных систем по очистке сточных вод с оборотной (бессточной) системой водоснабжения.

Кроме того, извлечь из бытового мусора 100% пластика и направить его на механическую

переработку нет никакой возможности. Это касается, в основном, плёночного полиэтилена: упаковочные пакеты и мешки для мусора, сильно загрязнённые бутылки, банки, канистры и т.п., поэтому этот плохо разлагающийся продукт будет, все же, попадать на городские полигоны ТБО. Такой сильно загрязнённый пластик должен подвергаться утилизации непосредственно на городском полигоне отходов методом сухого пиролиза, с получением, при этом, жидкого топлива, вазелино- и битумосодержащих компонентов, используемых для производства, например, кабельной продукции, а также в строительной индустрии [1]. реактор для пиролиза ТБО представляет собой достаточно

сложное и дорогое сооружение [2], поэтому снабдить такими реакторами все городские или даже районные полигоны не представляется возможным. Авторы считают, что для пиролиза «грязных» БПО необходимо строить, на средства нескольких рядом расположенных городских обществ, мобильные реакторы, эскизный чертёж такого реактора показан на рис. 1.

Реактор работает следующим образом.

Отходы, например, бутылки, загружают в бункер 1 и вертикальным питателем 16 проталкивают в подогреватель 2, где происходит их предварительный подогрев сгоревшими пиролизными газами 3 до пластического состояния и образования пробки – газового затвора. Из горловины пластичная масса проталкивается внутрь горизонтальной части реактора 5 с температурой пиролиза. Дальнейший нагрев массы снижает вязкость до образования вязко-текучего её состояния. Реактор представляет собой туннельную печь со слегка вогнутой подовой частью, которая выполнена из окалиностойкой стали. С наружной части реактор термоизолирован каолиновыми матами 6. Горизонтальная часть реактора располагается внутри топочного пространства 7, в котором производится сжигание пиролизного газа, поступающего через горелки 12. Избыток газообразных продуктов пиролиза может отводиться по газопроводу 11 на холодильник (не показан) для получения жидких продуктов бензиново-керосинового типа. Продвижение размягчённой пластиковой массы внутри горизонтальной части 8 реактора принудительное, при помощи специальных приспособлений 9 и 10. Углеродный остаток, количество которого определяется степенью загрязнённости отходов, собирается в контейнере 14. При пиролизе, в основном, только бутылок из широко распространённого полиэтилентерефталатового (ПЭТ) пластика, выделяется в большом количестве фракция газообразная, поэтому через газопровод, связывающий реактор с холодильником, за счет его приоткрывания можно регулировать вязкость углеродосодержащей массы, поступающей в контейнер 14. Углеродосодержащая масса может использоваться при последующем перемешивании с песком и мелким щебнем для производства строительного кирпича или тротуарной плитки.

Однако главный вопрос заключается в том, чтобы значительно уменьшить поступление БПО на полигоны. Далее подробно опишем типичную технологическую схему механической утилизации полимерных отходов, применяемую сейчас большинством перерабатывающих предприятий в дальнем зарубежье, на примере утилизации ПЭТ-бутылок.

ПЭТ-бутылки сортируют, удаляют пробки, этикетки, посторонние загрязнения. Далее материал измельчают на ножевой дробилке до частиц размером 3-10 мм, а затем промывают водой или раствором каустической соды и высушивают при температуре не выше 130°C до остаточной влажности 0,02-0,05%. Промывочную воду

фильтруют и снова вводят в цикл. Всушенный материал перерабатывают на литьевых машинах (экструдерах) при 260-290°C. В процессе работы потребляется довольно много электроэнергии: суммарное энергопотребление такой установки по переработке отходов составляет, примерно, 1 кВт/час на каждый килограмм выходного продукта. Стоимость подобной высокопроизводительной линии для переработки БПО составляет 300-400 тысяч долларов США. Оценивая стоимость процесса по стадиям [3], можно увидеть следующее:

- стоимость стадии промывки – 0,2 доллара за 1 кг ПЭТ-отходов;
- сушка – 0,2 доллара за 1 кг;
- экструдирование и формование – 0,2 доллара за 1 кг.

Итого стоимость переработки бутылок-ПЭТ без стоимости сырья и его сортировки – 0,6 доллара за килограмм. Цена же ПЭТ-флекса (разобранные по цвету и измельченные ПЭТ-бутылки с удалёнными пробками и этикетками) колеблется в различных странах от 0,3 до 0,5 доллара за килограмм.

Итак, себестоимость вторичного ПЭТ по такой технологической схеме составляет от 0,9 до 1,1 доллара за килограмм, что, практически, сопоставимо со стоимостью первичного продукта. Возникает вопрос: следует ли использовать менее качественный вторичный полимер по цене, близкой к цене первичного? Возможно ли снижение его себестоимости?

Несмотря на высокую цену, вторичный ПЭТ не применяется для пищевых упаковочных материалов – и это основной недостаток механического рециклинга. Сложность в том, что рынок пищевого ПЭТ огромен, а вторичного – узко специализирован и нерегулярен. Практически все разнообразные предполагаемые сферы применения требуют дополнительной проработки, испытаний, интенсивного продвижения в соответствующих отраслях. Например, вторичный ПЭТ при использовании в качестве наполнителя строительных материалов таких как песок, опилки, стекловолокно, асбестовая крошка, альтернативной замены не имеет. Однако сейчас, практически, 95% флекса и дроблёнки вторичной переработки идут на экспорт в Китай (по достаточно высокой цене) и уже там подвергаются гидролизу.

В ряде европейских стран в последнее время быстро растет объём вторичного ПЭТ, перерабатываемого по принципу «бутылка из бутылки». Применяемые в настоящее время промышленные технологии, обеспечивают сверхчистую вторичную переработку ПЭТ. Процесс основан на промывке измельчённой бутылочной тары, регрануляции и дополнительной поликонденсации гранул ПЭТ. К примеру, ещё в 2002 году французской компанией «Amcor», была запущена в производство установка мощностью 15 тыс. т/год, перерабатывающая ПЭТ исключительно в собственные преформы – заготовки для

последующего производства бутылок для жидких продуктов. В Европе эксплуатируется несколько установок мощностью 6 тыс. т/год, например на предприятиях фирм: Texplast (Германия), ITW Polyrecycling (Швейцария), Selenis (Португалия).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Учитывая вышеуказанный аспект, применение вторичных пластиковых отходов становится всё более экономически выгодным. В то же время, в реалиях сегодняшней жизни снижение себестоимости утилизации видится во введении раздельного сбора отходов населением. Тезис: «спасение утопающего – дело рук самого утопающего», в данном случае, полностью себя будет оправдывать.

Главная задача – заинтересовать население в сборе и сдаче чистых БПО, тогда улучшится качество сырья и снизится, как следствие, себестоимость конечного продукта, т.е. возрастет рентабельность переработки.

Как показал эксперимент, проводившийся в г. Алчевске в 2004 году, чисто вымытые полимерные бутылки, банки, коробки, а также упаковочную плёнку и пакеты, население (в основном, пенсионного возраста), охотно сдаёт на ближайшие почтовые отделения за определенную оплату. Узлы связи городов и, особенно, сельских районов, благодаря своей инфраструктуре, способны охватить все слои населения и выполнить утилизацию чистых БПО. Вот составляющие инфраструктуры предприятия «Почта ЛНР»:

- массовый охват населения (как правило, один раз в месяц большинство граждан посещают ближайшее почтовое отделение, чтобы получить пенсию, оплатить коммунальные услуги, отправить письмо или посылку);

- наличие необходимых свободных площадей во всех отделениях связи из-за снижения выписываемых населением газет и журналов;

- регулярное обслуживание собственным транспортом;

- наличие весового оборудования достаточной точности;

- наличие кадров, получающих невысокую бюджетную зарплату.

Конечно, при выполнении работ по приёму от населения чисто вымытых БПО у предприятия «Почта ЛНР» появится серьёзная проблема, связанная с уменьшением объёма, занимаемого сырьём. Решение этой проблемы должно взять на себя крупное перерабатывающее предприятие, которое может быть создано, например, в пустующих корпусах бывшего предприятия военно-промышленного комплекса, например, «Завод Кратон» в г. Алчевске или завод «Юность» в г. Краснодон и др.

В обозримом будущем в сёлах и небольших посёлках альтернативная замена почтовым отделениям связи по приёму от населения БПО вряд

ли произойдёт. Необходимо отметить, что в последние несколько лет и само предприятие «Почта ЛНР» также начало продавать в своих почтовых отделениях ряд товаров в полимерной упаковке. В городах же, по мере расширения сети крупных торговых супермаркетов, возможно подключение к проблеме сбора у населения чистых БПО, а может быть (в недалёком времени) и бутылочного стеклобоя, также и указанных структур, как основных «поставщиков» бытового мусора. Как вариант, кроме почтовых отделений к работе по приёму у населения чистых БПО, могут быть привлечены различные конторы коммунальных служб, вывозящие ТБО на полигоны.

Важным фактором для подключения государственного предприятия «Почта ЛНР» к программе утилизации БПО является внесение изменений в уставные документы этого предприятия. Кроме экономических стимулов в этом вопросе, необходимо иметь в виду, что дополнительный вид деятельности не должен препятствовать почтовым отделениям выполнять свою основную работу по доставке и отправке почтовой корреспонденции. Для этого городские и поселковые коммунальные службы должны будут разместить рядом с каждым почтовым отделением (со стороны двора) металлический киоск площадью 4÷6 кв.м для приёмки и временного складирования мешков с БПО.

Попытки организации работ по утилизации БПО в крупных городах, используя опыт западных государств, начали предприниматься давно и продолжаются, однако результат получается, к сожалению, ниже ожидаемого. Так, в соответствии с Законом Украины «Об отходах» [4] и Приказа по вопросам Европейской интеграции [5] «Об утверждении порядка сбора, сортировки, транспортировки, обработки и утилизации используемой упаковки», одним из путей решения проблемы предполагается установка возле высотных домов на специально отведенных местах контейнеров для раздельного сбора вторичного сырья (полимеров, боя стекла, макулатуры, металлических банок и крышечек). Кроме наличия немалых денежных средств для выполнения указанного мероприятия, ещё потребуется время, чтобы приучить население к этому новшеству, т.е. – выработать гражданскую сознательность. В указанном вопросе очень важным фактором является поддержка государственных структур и согласованная работа с коммунальными предприятиями, которые занимаются сейчас вывозом мусора.

Примером может являться Белоруссия, в которой на основании Указа [6], подписанного президентом Лукашенко А.Г., создан Фонд организации сбора и использования отходов в качестве вторсырья. Он формируется за счет уплаты соответствующего сбора юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями, производящими и (или) импортирующими товары в

стеклянной таре и таре на основе бумаги, картона и др. Средства фонда направляются на развитие системы сбора и переработки отходов, возмещение затрат, которые не компенсируются денежными средствами, получаемыми от реализации отходов упаковки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Далее рассмотрим основные технико-экономические аспекты утилизации БПО на примере ЛНР при создании в городе Алчевске перерабатывающего предприятия, потребляющего, уменьшенные в объеме БПО, поступающие со всей республики. Планируемое количество потребления такого сырья принимаем, для начала работы, двадцать тонн в сутки.

Перерабатывающее предприятие будет осуществлять:

1. Измельчение или прессование БПО для сжижения занимаемого объема. Для этого предприятие должно создать во всех городах республики, имеющих городские или районные почтовые Узлы связи, участки предварительной переработки (УПП), оборудованные агломераторами, термопрессами и дробилками БПО.

2. Гранулирование измельченного и доставленного в город Алчевск сырья, значительно уменьшенного в объеме.

3. Изготовление из полученного гранулята упаковочной пленки и хозяйственных товаров (тазы, ведра, трубы и др. бытовые товары).

В перспективе развития указанного предприятия, возможны, как альтернатива, следующие варианты использования вторичного полимерного сырья:

1. Изготовление дешёвых волоконных материалов бытового и технического назначения (фильтры, нетканые материалы, автомобильные сидения, сумки, рюкзаки и пр.).

2. Производство строительных материалов (полимербетоны, черепица и т.п.).

3. Изготовление пленок технического назначения, бандажных лент.

4. Выпуск тары технического назначения, не предназначенной для контакта с пищевыми продуктами, а также различных бытовых изделий (ящиков, коробок, вешалок, подставок).

5. Изготовление связующих компонентов и наполнителей для композиционных материалов при изготовлении автомобильных пластиковых кузовов и т.п.

Цели и задачи деятельности перерабатывающего предприятия республиканского масштаба:

1. Защитить окружающую природную среду от «нашествия полимерной эпидемии».

2. Возвратить населению стоимость полимерной упаковки, в которой продаются продовольственные и непродовольственные товары, а также товары бытовой химии.

3. Создать новые рабочие места и широкий ассортимент дешёвых хозяйственных товаров местного производства.

Финансовые аспекты рассматриваемого вопроса.

Согласно информации, из журнала «Vinyl Siding Recycling. A How-To guide.» - American Plastics Council, 1997 г. (стр.18), в США цена утилизации БПО составляет (10,0 - 17,5) цента за фунт, что составляет при нынешнем курсе доллара (14,4 - 25,03) руб/кг. Цена переработки БПО до уровня сырья, пригодного для полимерного производства, составляет (13,0 - 21,0) цента за фунт, что соответственно равно (18,6 - 30,0) руб/кг.

Далее используются для расчетов технико-экономических показателей, достаточно важного социально-экологического проекта, нижние уровни цен, принятые в США: утилизации БПО – 6,27 руб/кг и переработки – 5,52 руб/кг. Принимая во внимание разные условия утилизации, которые существуют в США и в ЛНР, обусловленные особенностями национального менталитета, к указанной цене утилизации необходимо прибавить стоимость оплаты населению за собранные и сданные чистые БПО (вымытые без этикеток и крышечек бутылки и флаконы). Результаты проведенного эксперимента в г.Алчевске показывают, что при цене 2,5 грн/кг (сейчас в ЛНР - 6,03 руб/кг), население достаточно активно может подключиться к этой работе. Следовательно, цена сырья, поставляемого в город Алчевск предприятием «Почта ЛНР» будет составлять: $6,27 + 5,52 + 6,03 = 17,82$ руб/кг. В указанную сумму входят:

-оплата населению за собранные и сданные чистые БПО – 6,03 руб/кг;

-оплата труда приёмщика (взвешивание, упаковка в мешки и погрузка в почтовую машину) – 2,17 руб/кг, при ожидаемом среднесуточном поступлении БПО в количестве 20 кг, в городских почтовых отделениях, чистая прибавка к зарплате почтового работника составит 43,4 руб. в день (в соответствии с «Законом об отходах», принятым ещё в Украине, этот вид деятельности не должен облагаться налогами);

-оплата почте попутных транспортных перевозок мешков с БПО к месту нахождения УПП (дробильно-измельчающего участка), расположенного при каждом городском или районном Узле связи – 4,1 руб/кг;

-оплата электроэнергии, работ по сортировке и измельчению БПО, амортизация оборудования – 5,52 руб/кг.

Реализацию проекта предлагается осуществлять поэтапно, чтобы снизить влияние, так называемого, «неучтённого фактора», который обязательно присутствует в любом новом деле. В ЛНР этапов предполагается выделить четыре, по количеству транспортных магистралей, связывающих г. Алчевск с городами и посёлками республики. Ориентироваться по транспортным направлениям наиболее целесообразно, т.к. по этим маршрутам

будет поставляться измельчённое полимерное сырьё на перерабатывающее предприятие, расположенное в черте г. Алчевска или в его окрестностях. Транспортные направления по городам ЛНР можно выделить следующие:

- 1.Первомайск – Кировск – Стаханов – Брянка – Алчевск;
- 2.Ровеньки – Антрацит – Красный луч – Петровское – Перевальск – Алчевск;
- 3.Свердловск – Краснодон – Молодогвардейск – Лутугино – Алчевск;
- 4.Луганск – Алчевск.

На освоение первого транспортного направления потребуется более года, что необходимо для накопления опыта организации процесса утилизации и появления дополнительных средств от продажи гранулята (промежуточного сырья при утилизации) или бытовых товаров собственного производства. Другие транспортные направления будут организовываться по примеру первого. Во всех указанных пунктах каждого направления необходимо организовать участки предварительной переработки (УПП) пластика, т.е. дробильно-измельчающие участки, которые должны быть оснащены, как минимум, одной линией переработки упаковочной полимерной пленки и линией переработки полимерных бутылок, банок и флаконов. Такие линии выпускаются серийно предприятиями Российской Федерации, Украины, Белоруссии.

Определить бюджет всего проекта и сроки его окупаемости весьма проблематично. Это связано с большой масштабностью проекта и, как следствие, не менее чем трехлетним сроком его выполнения. Из-за плохо контролируемого уровня инфляции, расчеты приводятся ниже лишь для первого этапа, т.е. для первого транспортного направления – Первомайского.

Доставку сырья (дроблёнки) в г.Алчевск выгодно осуществлять еженедельными транспортными маршрутами, арендованного автотранспорта фургонного типа грузоподъемностью 6-8 тонн. Маршрут должен проходить по четырём городам: Первомайск – Кировск – Стаханов – Брянка, с участков предварительной переработки которых должны вывозиться измельчённые БПО. Протяженность указанного маршрута (в обе стороны) по отношению к Алчевску составляет, примерно, 200 км. При

стоимости перевозки 9,64 руб/км и количестве загружаемого в мешках дроблёного сырья 6 тонн, стоимость доставки сырья составит 0,325 руб/кг.

Годовые эксплуатационные затраты по вводу в действие и эксплуатацию одного УПП определяем из условия приобретения, например, в городе Харькове двух серийно выпускающихся линий гранулирования пластмасс ТУ.У 05815333-004-2000, предназначенных для получения гранулята из вторичных полимерных материалов (регранулята), с производительностью одной линии – 30 кг/ч. При двухсменной работе с коэффициентом загрузки оборудования $K_z = 0,8$ и шестидневной рабочей неделе, производительность двух линий составит 250 тонн гранул в год.

Стоимость линии для агломерации отходов из полимерной пленки ТУ.У 05815333-002-2000 составляет 115,68 тыс. руб.

Стоимость линии для дробления твердых полимерных отходов ТУ.У 05815333-003-2000 составляет 69,41 тыс.руб.

Расходы по ремонту помещения и монтажу электрических линий на арендуемых площадях – 144,6 тыс.руб

Спецодежда (халаты, перчатки) для работников почтовых отделений, обменные мешки для упаковки чисто вымытых и без этикеток БПО – 9,64 тыс.руб

Итого единоразовые затраты составят, примерно, 340 тыс. руб.

Учитывая плату за аренду помещения (площадью не менее 100 кв.м), зарплату рабочих, оплату за электроэнергию и амортизацию оборудования, **годовые эксплуатационные затраты составят, около, 118 тыс. руб.**

Для работы УПП должен быть директор, бухгалтер-учётчик, по одному квалифицированному рабочему на каждую из двух линий переработки, грузчик, а также ночной сторож. Удельный расход по зарплате основных и вспомогательных работников составит – 2,275 руб/кг.

Затраты на эксплуатацию установленных двух линий гранулирования пластмасс, определяем исходя из паспортной потребляемой электрической мощности равной 18 кВт и нормы расхода воды 0,2 м³/ч, приняв, как указывалось выше, двухсменную работу агрегатов с коэффициентом загрузки $K_z = 0,8$.

Одна линия потребляет за год:

- электроэнергия: $18 \text{ кВт} \times 16 \text{ час} \times 0,8 \times 312 \text{ дн.} \times 1,26 \text{ руб.} = 90575 \text{ руб.}$

- вода: $0,2 \text{ м}^3/\text{ч} \times 16 \text{ час} \times 0,8 \times 312 \text{ дн.} \times 21,74 \text{ руб.} = 17364 \text{ руб.}$

Итого: 107939 руб.

Удельные затраты на эксплуатацию двух линий составляют:

$107939 \times 2 / 250000 = 0,864 \text{ руб/кг}$

Амортизационные отчисления принимаем 12% от стоимости линий, что равняется:

$185100 \times 0,12 = 22212 \text{ руб.}$

Удельные амортизационные отчисления будут: $22212 / 250000 = 0,089 \text{ руб/кг.}$

Таблица 1. Удельные затраты промежуточной переработки БПО
Table 1. Unit costs of intermediate processing of BPO

№ п/п	Наименование составных частей затрат	Цена продукции, руб/кг
1.	Сырьё – агломерат и дроблёнка	17,82
2.	Доставка сырья в г.Алчевск	0,325
3.	Зарплата основных и вспом. рабочих с начислениями	2,275
4.	Затраты на эксплуатацию оборудования (эл.энергия, вода, сжатый воздух)	0,864
5.	Амортизационные отчисления	0,089
6.	Общехозяйственные затраты	0,15
7.	Итого, стоимость производства гранулята	21,52

Общехозяйственные затраты включают в себя: аренду помещения для размещения перерабатывающего предприятия, отопление и освещение его, оформление документов на организацию данного вида деятельности, отчисления в бюджетные и позабюджетные фонды как-то: коммунальный налог, «штрафы» пожарным, санстанции и др. службам, на что резервируем – 0,15 руб/кг.

Себестоимость гранулята (при работе перерабатывающего участка с двумя линиями по выпуску агломерата и дроблёнки с загрузкой их на полную годовую проектную мощность) сводим в таблицу 1.

ВЫВОДЫ

При рыночной стоимости гранулята, произведенного из вторичных полимерных материалов, не менее 25,7 руб/кг, прибыль по перерабатывающему предприятию составит: $25,7 - 21,52 = 4,18$ руб/кг, что при полной проектной производительности двух линий позволит получить годовую прибыль не менее 1 млн. 45 тыс. руб.

При расчете прибыли не учтены НДС и налог на прибыль, т.к., согласно постановлению Кабинета министров Украины № 1197 от 03.08.2000 г., утилизация полимерных отходов, как вторичного сырья, освобождается от НДС, а доходы от налогообложения. Аналогичное постановление, вероятно, должно быть принято и Министрствами финансов ЛНР и ДНР.

Срок окупаемости средств, инвестированных в четыре УПП (этап № 1), расположенных в городах: Кировске, Первомайске, Стаханове и Брянке, составит

$$340000 \times 4 / 1045000 = 1,3 \text{ года}$$

Полученный срок окупаемости, является очень даже небольшим. При выполнении последующих этапов описанного экологического проекта, перерабатывающее предприятие сможет за счет собственных средств расширить своё производство до уровня выпуска из произведенного и поставленного в г.Алчевск агломерата и дроблёного пластика, товаров народного потребления. Это значительно повысит уровень рентабельности производства и уменьшит срок окупаемости инвестиций. Для этого предприятию должны быть

выделены льготные кредиты на приобретение экструдеров и литьевых пресс-форм, а также линий для производства канализационных труб и другой строительной продукции. Произведённые бытовые товары (вёдра, тазы и пр.), а также строительная продукция может поставаться и продаваться предприятием «Почта ЛНР» через свои почтовые отделения, а это значит, что БПО начнут свою безвредную для людей и природы «вторую жизнь».

К сожалению, финансирование утилизации твёрдых бытовых отходов традиционно производится, начиная из советских времён и до настоящего времени, по остаточному принципу из бюджетных средств. Например, у молодой ЛНР, имеющей большое количество разрушений при ведении боевых действий, бюджетных средств явно не достаточно. Из вышеприведенного материала статьи следует, что средства для начала работ по остановке роста полигонов ТБО нужны сравнительно небольшие, однако необходимо преодолеть, прежде всего, чиновничью неразбериху между Министерствами Республики.

В соответствии с результатами научно-практической конференции [7], состоявшейся 14-15 ноября 2019 г. в Донецком медицинском университете, проблема с БПО в Донецкой Народной Республике (ДНР), практически, не отличается от аналогичной проблемы в ЛНР. Исходя из сказанного, можно сделать вывод, что в Народных Республиках Донбасса очистку территории от БПО решено возлагать, вероятно, только на коммерческие структуры, которые приглашаются со своими инвестициями. Авторы, со своей стороны, кроме местных инвесторов также приглашает инвесторов из Крыма и Российской Федерации для работы по программам утилизации «чистых» и «грязных» БПО и гарантирует передачу своих технических разработок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработка технологии и оборудования для пиролиза экологически опасных отходов / В.В.Калужный, А.И.Сердюк, В.А.Кравец, Е.В.Лысенко и др. // Отчет по НИР № 190-ГБ, ГР № 0110U000108. – Алчевск: ДонГТУ, 2011. – 98 с.
2. Патент на корисну модель UA 22609, МПК (2006) C10G 9/28. Пристрій для піролізу

пластикових відходів / Заблудський М.М., Калюжний В.В., Кононов Ю.О., Окалєлов В.М.; заявник та патентовласник Донбас. держ. техн. ун-т. – Опубл. 25.04.2007, Бюл. № 5.

3. К. Мюллер, Ф Велес. Бутылка из бутылки. – Интернет-журнал «Твердые бытовые отходы», № 8, 2006, изд. «Отраслевые ведомости».

4. Про відходи - Законодавство України - Верховна Рада / <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-vr>.

5. Про затвердження Порядку збирання, сортування, транспортування, переробки та утилізації використаної тари (упаковки). Наказ № 224 від 02.10.2001. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 5 жовтня 2001 р. за N 866/6057.

6. Указ Президента Республики Беларусь № 437 от 10 июля 2006 г. «О некоторых мерах по совершенствованию организации сбора (заготовки) и использования отходов в качестве вторичного сырья». – Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2006 г., № 109, 1/7730. <P30600437>.

7. К вопросу создания в населённых пунктах оптимальных систем сбора и утилизации бытовых полимерных отходов / С.В.Капранов, В.В.Калюжний // «III Международный форум Донбасса: «Наука побеждать болезни». Тезисы докладов. – Донецк, Медуниверситет им. М. Горького, 2019. – С. 200.

BIBLIOGRAPHY

1. Development of technology and equipment for the pyrolysis of environmentally hazardous waste / VV Kalyuzhny, AI Serdyuk, VA Kravets, EV Lysenko, etc. // Report on research work No. 190-GB, GR No. 0110U000108. - Alchevsk: DonSTU, 2011. -- 98 p.

2. Patent for corisna model UA 22609, IPC (2006) C10G 9/28. Pristriy for pirolizu plastic vidhodiv / Zabludskiy MM, Kalyuzhny VV, Kononov Yu.O., Okalulov VM; applicant and patent holder Donbas. holding tech. un-t. - Publ. 04/25/2007, Bul. No. 5.

3. K. Müller, F. Veles. Bottle from bottle. - Internet magazine "Solid household waste", No. 8, 2006, ed. "Industry Gazette".

4. About entrance - Ukrainian Legislation - Verkhovna Rada / <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-vr>.

5. About hardening The order of picking, sorting, transporting, recycling and disposing of vikoristan tar (packaging). Order No. 224 dated 02.10.2001. Registered in the Ministry of Justice of Ukraine, June 5, 2001 for N 866/6057.

6. Decree of the President of the Republic of Belarus No. 437 of July 10, 2006 "On some measures to improve the organization of collection (preparation) and use of waste as secondary raw materials". - National Register of Legal Acts of the Republic of Belarus, 2006, No. 109, 1/7730. <P30600437>.

7. On the issue of creating optimal systems for collection and disposal of household polymer waste in settlements / SV Kapranov, VV Kalyuzhny // "III International Forum of Donbass: "Science to Conquer Disease ". Abstracts of reports. - Donetsk, Medical University. M. Gorky, 2019. -- P. 200.

DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF RECYCLING HOUSEHOLD POLYMER WASTE ON THE EXAMPLE OF THE LUGANSK AND DONETSK PEOPLE'S REPUBLICS

Lysenko¹ E.V., Serdyuk² A.I.

¹GOU VPO "Donbassky State Technical Institute ", LPR, Alchevsk, Lenin Ave., 16, e-mail: STF_Kamerton@mail.ru

²GOU VPO "Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture", DPR, Makeevka, st. Derzhavin, 2, e-mail: ecoalserdiuk@rambler.ru

Summary: Household polymeric waste is a raw material for many industrial technologies, however, it has a small mass with a significant occupied volume, which is a big problem when transporting it to the location of a processing enterprise of a republican scale. The article describes the most difficult stage of recycling - collection of cleanly washed ("clean") polymer waste by the population, and also provides a sketch drawing of a mobile reactor for pyrolysis of "dirty" polymer waste concentrated in solid waste landfills. Investors are invited to address the issues of disposal of household polymer waste in the Donbass.

Subject of research: Improvement of methods for the disposal of household polymer waste, both cleanly washed with removed labels, and dirty, concentrated in thousands of tons at urban solid waste landfills.

Materials and methods: Identification of possible participants from the composition of state and commercial structures for the effective disposal of household polymer waste collected in cities and villages of the People's Republics of Donbass, in order to load the state processing enterprise of medium capacity.

Results: The calculations of economic efficiency were carried out when investing funds in a project for the utilization of clean waste, from which it is imperative to begin work to improve the technogenic safety of any territorial entities, since its successful implementation dramatically reduces the growth of solid waste landfills. Calculations convincingly show the feasibility of investing finance to protect the natural environment and return funds to the population, which they spend when buying goods in polymer packaging: in bottles, cans, bags, etc.).

Conclusions: If there is even an incomplete recycling cycle of household polymeric waste (up to the stage of obtaining crushed and agglomerate), it is possible to obtain a project payback period of 1.3 years.

Key words: waste, polymers, disposal.

СПИСОК АВТОРОВ

Андронов А.В.	Кандидат физико-математических наук, доцент, Академия строительства и архитектуры, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского
Бекиров Э.А.	Доктор технических наук, профессор, Крымский федеральный университет им. Вернадского
Бекиров Э.А.,	Доктор технических наук, профессор, Крымский федеральный университет им. Вернадского
Бородулина С.В.	Доктор технических наук, доцент, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А
Воскресенская С.Н.	Крымский федеральный университет им. В.И.Вернадского Физико-технический институт
Гвоздкова И.А.	Кандидат физико-математических наук, доцент, Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)
Гвоздкова Ю.Д.	аспирант, Московский авиационный институт
Горбачев С.И.	Московский авиационный институт
Живица В.В	Старший преподаватель кафедры Градостроительства Академия строительства и архитектуры, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского
Кувшинов В.В	Кандидат технических наук, доцент, Севастопольский государственный университет
Кузьменко О.А.	Ассистент каф. Механики и сейсмостойкости сооружений, ассистент Академии строительства и архитектуры, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского
Лысенко Е.В.	Научный сотрудник НИЧ при факультете механики ГОУ ВПО Донбасский государственный технический университет
Малаховская А.И.	Обучающаяся в группе ГС-м-о-191, Академия строительства и архитектуры, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского
Мокрова Н.В.	Доктор технических наук, профессор, Национальный Исследовательский Московский Государственный Строительный Университет,
Муровский С.П.	Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского
Нагаева З.С.	Доктор архитектуры, профессор Академия строительства и архитектуры, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского
Потенко В.В.	Крымский федеральный университет им. В.И.Вернадского Физико-технический институт
Решетников М.К.	Доктор технических наук, доцент, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А
Решетников М.К.	Доктор технических наук, доцент, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А
Родригес Вакес С.	Национальный Исследовательский Московский Государственный Строительный Университет,
Рязанов С.А.	Преподаватель, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А
Рязанов С.А.,	Преподаватель, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Сердюк А.И.	Профессор, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры
Хитрук С.А.	Магистрант 2-го курса группы ТПЗС-м-о-191 Академии строительства и архитектуры, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского
Чекалин А.А.	Кандидат технических наук , доцент, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А
Чемодуров В.Т	Доктор технических наук, профессор Академии строительства и архитектуры, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского,

Шаленный В.Т.	Доктор технических наук, профессор, Академия строительства и архитектуры, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского
Шпилев В.В.	Кандидат технических наук, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А
Шпилев В.В.	Кандидат технических наук, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А

ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ

1. Прием статей в редакцию и состав сопроводительных документов

Прием статей для публикации в журнале осуществляется в постоянном режиме. Процесс рассмотрения статьи, рецензирования и редакционно-издательской обработки занимает достаточно длительное время, в связи с чем поступившая и допущенная редколлегией к публикации статья будет, как правило, опубликована не ранее, чем через 4 месяца со дня ее поступления. Датой поступления статьи будет считаться дата ее получения от автора в окончательном варианте после всех доработок и исправлений по замечаниям рецензентов и редактора.

Просим авторов тщательно готовить свои материалы с целью сокращения сроков их рассмотрения и обработки.

Неправильно оформленные материалы не рассматриваются, не рецензируются и не возвращаются! Также не возвращаются авторам рукописи статей и электронные копии на локальных носителях. При этом редакция по собственной инициативе в переговоры с авторами не вступает.

1.1. Прием статей на рассмотрение и рецензирование осуществляется через онлайн систему приема статей.

Прием статей на рассмотрение и рецензирование через онлайн систему приема статей производится на сайте журнала по адресу: <https://stroyjurnal-asa.ru>. Инструкция по использованию системы доступна на сайте. Автор имеет возможность следить за продвижением статьи в редакции в личном кабинете и получает соответствующие уведомления по электронной почте.

Все поступившие в редакцию статьи проходят обязательное двойное слепое рецензирование. По результатам рецензирования автору сообщается решение о публикации, замечания рецензента и редактора или решение об отклонении статьи.

1.2. Прием к публикации окончательного варианта статьи. Окончательный (после внесения правки по замечаниям рецензентов и редактора) вариант статьи автор также загружает через систему или направляет на электронный адрес ger_bilenko@cfuv.ru для ее редактирования, корректуры, верстки и публикации в журнале.

1.3. Прием пакета сопроводительных документов осуществляется через онлайн систему приема статей и по электронному адресу ger_bilenko@cfuv.ru.

Автор, пройдя регистрацию в системе, загружает статью в формате .doc или .docx, форматированную по шаблону (см. п. 2), вместе с файлами отсканированных документов: экспертного заключения о возможности опубликования в открытой печати (далее – экспертного заключения) и информации об авторах статьи.

Экспертное заключение оформляется по требованиям, установленным в организации – работодателе автора. Редакция исходит из того, что авторы добровольно предоставляют сведения о себе в анкете автора в требуемом объеме и составе (в соответствии с правилами для публикаций научных статей в журналах, включенных в Перечень ВАК) для их открытого опубликования. Также к загружаемой статье может быть приложен файл отсканированной внешней (т.е. из сторонней организации) рецензии (1 экз.), оформленной и заверенной в организации по месту работы рецензента. Оригинал рецензии присылать в редакцию по почте не требуется.

Сопроводительные документы можно направить по электронной почте по адресу ger_bilenko@cfuv.ru. Все вопросы и пожелания относительно пакета документов необходимо отправлять на этот адрес электронной почты редакции.

Пакет оригиналов сопроводительных документов, включающий информационную карту статьи на публикацию сведений об авторе и экспертное заключение, должен поступить в редакцию по почте не позднее 3 недель со дня уведомления автора (письмом на адрес электронной почты) о положительном решении по поводу публикации статьи.

Бланки сопроводительных документов и требования:

Информация об авторах статьи. Информация об авторах статьи загружается в систему OJS или отправляется на адрес электронной почты ger_bilenko@cfuv.ru в электронном виде в виде файла с расширением .doc или .docx;

Бланк экспертного заключения и авторской справки (только для авторов – работников КФУ им. В.И. Вернадского (распечатывается и заполняется вручную))

Бланк экспертного заключения и Внешняя рецензия – загружается в систему OJS или отправляется на адрес электронной почты ger_bilenko@cfuv.ru в сканированном виде (файл PDF).

2. Требования к оформлению статей

Статья будет рассмотрена редколлегией и рецензентами только при условии полного соответствия ее оформления изложенным ниже требованиям, предъявляемым к публикациям в научных журналах, индексируемых международными базами научного цитирования.

Все статьи, поступившие в редакцию журнала, получившие положительную оценку рецензентов и рекомендованные к публикации, проходят обязательную редакционную обработку (редактирование, корректуру, техническое редактирование). Внесение правки по замечаниям редактора согласовывается с автором.

Датой поступления статьи в редакцию считается дата поступления и регистрации в редакции окончательного авторского оригинала с учетом всех внесенных изменений по замечаниям рецензентов и редактора.

Общие требования для подготовки статей

Объем статьи, включая таблицы, рисунки и фотографии должен быть не менее 6 страниц и не превышать 10 страниц.

Шрифт. Нормальный Times New Roman (TNR), размер шрифта – 10 пт, одинарный интервал; интервал шрифта – обычный (без растяжения или уплотнения). Варианты шрифта в тексте статьи: типа курсива или жирного шрифта допускаются, подчеркивание слов и предложений не допускаются.

Параметры страницы: верхнее поле – 2,5 см, нижнее – 2,5 см, левое – 2,5 см, правое – 2,5 см.

Таблицы. Таблица озаглавляется словом Таблица 1 (шрифт – обычный TNR 10 пт, по центру) со следующим за ним номером с точкой. Далее помещается название таблицы с прописной буквы (не более 3-х строк), без заключительной точки. Ниже приводится название таблицы на английском языке. Размер таблиц и рисунков не должен превышать размер B5 (12,5 × 19,5 см). Шрифт заголовков столбцов и строк, содержания таблицы – обычный TNR 9 пунктов. Таблицы нумеруются арабскими цифрами.

Рисунки и графики. Рисунки и графики озаглавливаются словом Рис.1 (шрифт – обычный TNR 9 пунктов) со следующим за ним номером с точкой. Рисунки выполняются в графических редакторах, совместимых с Word и размещаются по тексту. Под рисунком помещается подпись на русском и английском языках. Короткая подпись центрируется, а если длинная – форматируется с абзацем первой строки. Качество рисунков и графиков должно обеспечивать прочтение и тиражирование. Рисунки и графики нумеруются арабскими цифрами.

Формулы. Формулы набираются в редакторе формул Equation или Math Type. Использовать для набора формул графические объекты, кадры и таблицы запрещается. Формула располагается по центру строки, номер формулы (в круглых скобках, TNR 10 пт) – по правому краю страницы, от окружающего текста отделяется пустыми строками. Формульное окно принудительно растягивать или сжимать нельзя. Применение единиц измерений в международной системе СИ – обязательно.

Обязательный порядок статьи.

- **УДК** в левом верхнем углу страницы, шрифт TNR 12 пт, прописными буквами
- **Название статьи шрифт** TNR 12 пт все прописными.
- **Имя и фамилия** автора(ов), шрифт обычный TNR 12 пт.
- **Место работы** авторов, шрифт обычный TNR 9 пт., адрес места работы, e-mail
- **Аннотация статьи (Abstract)** 200 – 250 слов, шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Предмет исследования (Subject):** шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Материалы и методы (Materials and methods):** шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Результаты (Results):** шрифт обычный TNR 9 пт.

- **Выводы (Conclusions):** шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Ключевые слова (Key words)** до 6 слов и словосочетаний, необходимых для поиска или классификатора, шрифт обычный TNR 9 пт.
- **Текстовая часть.** Статья должна содержать следующие разделы:
 - ВВЕДЕНИЕ;
 - АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ;
 - МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ;
 - РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ;
 - ВЫВОДЫ;
 - СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

Заголовки разделов набираются строчными буквами, шрифт TNR 11 пунктов и центрируются.

В конце статьи размещается **Название статьи, Имя и фамилия автора(ов), Место работы авторов, Аннотация статьи, Предмет исследований, Материалы и методы, Результаты, Выводы, Ключевые слова** на английском языке с сохранением редакторских требований, указанных выше к каждому структурному элементу статьи.

Рекомендации по подготовке аннотации статьи

Аннотация выполняет следующие основные функции:

- дает возможность читателю быстро оценить основное содержание статьи с тем, чтобы решить, следует ли ему обращаться к ее полному тексту;
- предоставляет читателю самую общую информацию о статье, устраняя необходимость чтения ее полного текста в случае, если статья представляет для читателя второстепенный интерес;
- используется в научных, библиотечных и поисковых информационных системах.

Аннотация к статье должна быть:

- информативной (не содержать общих слов);
- содержательной (отражать основное содержание статьи);
- структурированной (следовать логике изложения материала в статье);

Аннотация должна включать в себя:

- предмет и цель работы (если они не следуют из названия статьи);
- используемый метод или методы исследования;
- основные результаты исследования;
- отличия данной публикации от других, схожих по теме;
- область применения результатов;
- выводы, рекомендации, перспективы развития работы.

В аннотации следует избегать лишних вводных фраз (например, «автор статьи рассматривает...», «автор полагает...» и т.д.), а также сложных грамматических конструкций. Аннотацию следует писать как можно более лаконичным, точным и простым языком. Должна быть понятна широкому кругу читателей, поэтому не должна изобиловать научными терминами. Следует избегать общеизвестных сведений и штампов. Аннотация не должна включать в себя цитаты из текста статьи. В аннотации обычно используются конструкции констатирующего характера (автор анализирует, доказывает, излагает, обосновывает и т. д.), а также оценочные стандартные словосочетания (уделяет основное внимание, важный актуальный вопрос, проблема, детально анализирует, убедительно доказывает).

Список литературы оформляется на русском и английском языках.

Библиографическое описание выполняется по:

- ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание;
- ГОСТ 7.0.5-2008. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления;
- ГОСТ 7.82-2001. Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов;
- Регламент включения научных журналов в Российский индекс научного цитирования. – М., 2008.

Не менее 12 источников, с ссылками на статьи в предыдущих выпусках сборника «Строительство и техногенная безопасность», в которых не участвовали авторы представленной статьи.

Рекомендации по подготовке списка литературы

- Цитирование двух или более источников под одним номером, одного и того же источника под разными номерами не допускается.
- Во всех источниках необходимо указывать фамилии и инициалы всех авторов.
- Ссылки на книги, переведенные на русский язык, должны сопровождаться ссылками на оригинальные издания с указанием выходных данных оригинального издания.
- Ссылки на книги должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название книги, город, год, количество страниц.
- Ссылки на статьи в журналах должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название статьи, название журнала, год, том (если указан), номер, страницы (первая и последняя, разделенные тире).
- Ссылки на сборники (конференции, симпозиумы) должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название сборника (конференции, симпозиума), город (место проведения), год, том (если указан), номер (если указан), количество страниц.
- Ссылки на статьи в сборниках (материалах конференций, симпозиумов) должны содержать следующую обязательную информацию: фамилия и инициалы авторов, название статьи, название сборника (конференции, симпозиума), город (место проведения), год, том (если указан), номер (если указан), страницы (первая и последняя, разделенные тире).
- Ссылки на электронные ресурсы удаленного доступа должны содержать следующую обязательную информацию: название ресурса, режим доступа, дата обращения.
- В инициалах авторов между именем и отчеством пробел не ставится.
- В заголовке описания запятая после фамилии автора перед его инициалами может быть опущена.
- Если в документе один, два или три автора, то в сведениях об ответственности (т.е. за косой чертой после названия документа) они могут не повторяться.
- При наличии **четырех и более** авторов в сведениях об ответственности (т.е. за косой чертой после названия документа) приводят фамилии **всех** авторов.
- Допускается предписанный знак точку и тире, разделяющий области библиографического описания, заменять точкой.
- Допускается не использовать квадратные скобки для сведений, заимствованные не из предписанного источника информации.

НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать в список литературы ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНИПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях или расчетах или аргументации лучше делать непосредственно по тексту статьи.
2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.
3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.
4. Самоцитирование, т.е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных показателей автора.